

Trabajo Fin de Grado

## Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales

Plan de empresa para un circuito de pruebas de vehículos inteligentes

### MEMORIA

**Autor:** Sotos Cano, Pol  
Medina Gámez, Nazario  
**Director:** Hernández, Emilio  
**Convocatoria:** Enero, 2017



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resumen

El objetivo de nuestro trabajo de fin de grado “Plan de empresa para un circuito de pruebas de vehículos inteligentes” es la realización de un plan de empresa sobre el acondicionamiento de un circuito de velocidad de vehículos convencionales para la realización de pruebas con automóviles autónomos.

La metodología que hemos usado para la realización es la siguiente: Para cada problemática hemos buscado la teoría necesaria para la comprensión de ésta y, posteriormente, ya sea con la ayuda de herramientas tecnológicas o contrastando toda la información encontrada, hemos decidido la mejor solución. A la hora de explicar la solución hemos sido lo más concretos posible teniendo en cuenta los límites en los que se encuadra un plan de empresa.

Para adecuar el circuito de velocidad es necesaria la instalación de tres elementos básicos:

- Un conjunto de luminarias: Consideramos que su instalación resulta fundamental para ampliar las horas de usufructo del circuito de velocidad por parte de las empresas – clientes.
- Un circuito cerrado de cámaras IP: Resulta imprescindible la instalación de un circuito cerrado de cámaras IP para la realización de pruebas con coches autónomos por dos razones: La primera es el control necesario del recorrido del coche para poder ver su comportamiento en todo momento y la segunda es por temas de seguridad relacionados con accidentes y cualquier situación anormal.
- Dos redes de transmisión de datos: una para el funcionamiento de las cámaras IP y otra para la realización de las pruebas con los coches autónomos.

Por último, cabe comentar la inversión y rentabilidad del plan de empresa. Se trata de una inversión muy elevada con un periodo de retorno de entre 6-7 años. Es un proyecto caro pero ambicioso, ya que a partir del séptimo año los beneficios son muy elevados.



# SUMARIO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>1. GLOSARIO</b>	<b>5</b>
<b>2. PREFACIO</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del proyecto	9
2.2. Motivación	9
2.3. Requerimientos previos	9
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
3.1. Objetivos del proyecto	11
3.2. Alcance del proyecto	11
<b>4. PLAN DE EMPRESA</b>	<b>13</b>
4.1. Datos básicos de la empresa	13
4.1.1. Introducción	13
4.1.2. Historia:	14
4.1.3. Instalaciones:	15
4.1.4. Actividades:	16
4.1.5. Circuito de velocidades:	16
4.2. Datos básicos del proyecto:	18
4.2.1. Introducción:	18
4.2.2. Coches autónomos:	18
4.2.3. Iluminación	22
4.2.4. Cámaras:	22
4.2.5. Red de transmisión de datos:	23
4.3. Estudio de mercado:	24
4.3.1. Aspectos generales del sector y clientes potenciales:	24
4.3.2. Análisis de la competencia:	26
4.3.3. Debilidades y fortalezas de la empresa:	27
4.4. Estudio técnico:	28
4.4.1. Tecnología del coche autónomo:	28
4.4.2. Iluminación del circuito:	30
4.4.3. Instalación de las cámaras	71
4.4.4. Instalación de red de transmisión de datos:	85
4.4.5. Alimentación del sistema:	99
4.5. Plan de inversiones y presupuesto:	100

4.5.1.	Presupuesto luminarias: .....	100
4.5.2.	Presupuesto cámaras: .....	101
4.5.3.	Presupuesto red de transmisión de datos: .....	102
4.5.4.	Presupuesto final de la inversión inicial: .....	103
4.5.5.	Previsión de la inversión: .....	104
<b>CONCLUSIONES:</b> .....		<b>107</b>
<b>AGRADECIMIENTOS:</b> .....		<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>111</b>
	Referencias bibliográficas .....	111
	Bibliografía complementaria .....	112

# 1. Glosario

**Luminaria:** Una luminaria se define como el aparato de alumbrado que reparte o filtra el haz de luz emitido por las lámparas que contiene en su interior. Una luminaria comprende todos los elementos necesarios para el soporte, la protección y fijación de las lámparas. También puede comprender los medios de conexión con la red de alimentación.

**Lámpara:** Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacente a la zona visible.

**Luminancia (L):** En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ ).

**Iluminancia (E):** Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el Lux

**Flujo luminoso ( $\Phi$ ):** Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el Lumen (lm).

**Lumen (lm):** Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela.

**Eficacia luminosa:** Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en  $\text{lm}/\text{W}$ .

**Diagrama polar:** Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos. Generalmente se representan los planos  $C = 0^\circ - 180^\circ$ ,  $C = 90^\circ - 270^\circ$  y plano de intensidad máxima.

**Alcance:** Característica de una luminaria que indica la extensión que alcanza la luz en la dirección longitudinal del camino. Las luminarias se clasifican en: Alcance corto, medio o largo.

**Dispersión:** La dispersión es la distancia, determinada por el ángulo 90%, que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada.

**Deslumbramiento:** Sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es suficientemente mayor que la luminancia a la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad o pérdida de la capacidad visual y de la visibilidad.

**Factor de mantenimiento ( $f_m$ ):** Es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado periodo de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva.

**Depreciación lumínica:** Disminución gradual de emisión luminosa durante el transcurso de la vida útil de una fuente luminosa.

**Coeficiente de utilización (CU ó K):** Relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria.

**Incremento Umbral (TI):** Criterio que se usa para evaluar la pérdida de visión. Se expresa en %

**Relación entorno (SR):** El coeficiente de iluminación en los alrededores (Surround Ratio, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores.

**Uniformidad global de luminancia ( $U_0$ ):** consiste en la relación entre la luminancia mínima y la luminancia media en la superficie útil.

**Uniformidad longitudinal de luminancia ( $U_L$ ):** consiste en la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima en la superficie útil.

**Intensidad luminosa:** la intensidad luminosa se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida en el Sistema

Internacional de Unidades es la candela (Cd).

**Altura de montaje:** Distancia vertical entre la superficie de la vía por iluminar y el centro óptico de la fuente de luz de la luminaria.

**Fps:** es la velocidad (tasa) a la cual un dispositivo muestra imágenes llamadas cuadros o fotogramas.

**DVR (digital video recorder):** Un grabador de vídeo digital (DVR, Digital Video Recorder) es un dispositivo interactivo de grabación de televisión y video en formato digital.

**Circuito cerrado de televisión (CCTV):** Circuito cerrado de televisión es una tecnología de video vigilancia diseñada para supervisar una diversidad de ambientes y actividades. Se le denomina circuito cerrado ya que, al contrario de lo que pasa con la difusión, todos sus componentes están enlazados.

**NVR:** es un sistema que permite registrar información digital a un dispositivo que no se encuentra físicamente en la red.

**Punto de acceso inalámbrico:** Un punto de acceso inalámbrico es un dispositivo de red que interconecta equipos de comunicación inalámbricos, para formar una red inalámbrica que conecte dispositivos móviles o tarjetas de red inalámbricas.

**Ancho de banda:** es la medida de datos y recursos de comunicación disponible o consumida expresados en bit/s o múltiplos de él como serían los Kbit/s, Mbit/s y Gigabit/s.

**Wi-Fi:** también conocido como Wi-Fi, es una marca comercial de Wi-Fi Alliance. Esta organización adopta y certifica los equipos que cumplen con los estándares 802.11 de las redes inalámbricas de área local.

**Comunicación inalámbrica:** La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio.

**Antena omnidireccional:** Una antena omnidireccional es una antena que radia la señal de forma uniforme en todas las direcciones del espacio. Esta antena solo existe teóricamente. En la práctica cualquier antena que irradie uniformemente en un plano de referencia.



**Antena direccional:** una antena direccional es una antena capaz de concentrar la mayor parte de la energía radiada de manera localizada, aumentando así la potencia emitida hacia el receptor y evitando interferencias introducidas por fuentes no deseadas.

**Ganancia:** La ganancia es la tendencia de una antena a concentrar la señal en una dirección específica. Se mide en decibelios (dB).

**Enlace inalámbrico:** Los enlaces inalámbricos son unos dispositivos que ofrecen la posibilidad de transportar datos y voz a lugares de difícil acceso donde no existen otras posibilidades de servicios de telecomunicaciones.

**Repetidor wifi:** Un repetidor o amplificador wifi recoge la señal que recibe y la amplifica con el fin de ampliar el rango de la señal.

**TIR:** La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad de una inversión es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para "reinvertir".

**VAN:** el VAN es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión.

## **2. Prefacio**

### **2.1. Origen del proyecto**

El origen de este proyecto viene dado por la voluntad del complejo ParcMotor de Castellolí de ampliar su actual modelo de negocio de pruebas y competiciones con coches convencionales y ampliarlo para albergar pruebas con coches autónomos. De esta manera el circuito de velocidad de Castellolí estará preparado para el futuro del mundo del automóvil.

### **2.2. Motivación**

La motivación de este trabajo reside en poder realizar un plan de empresa para un proyecto real, de la misma manera que lo podría realizar una empresa técnica especializada en el sector. Poder estudiar y analizar en profundidad cada una de las etapas que un plan de empresa requiere y así aprender y tener un primer contacto con los métodos de trabajo del mundo laboral.

Por otro lado, no solamente el hecho de poder realizar un plan de empresa nos motiva a hacer este proyecto, sino también el sector técnico en el cual trabajaremos en el que intentaremos aportar la mejor solución posible. Después de haber estudiado la teoría necesaria durante el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, damos un paso adelante para poder aplicarla en un proyecto real y así poder profundizar en los conceptos y conocimientos adquiridos, además de aprender nuevos.

### **2.3. Requerimientos previos**

Para poder realizar este proyecto hemos necesitados muchos conocimientos previos que se detallaran particularmente en cada uno de los apartados de nuestro estudio técnico.



## **3. Introducción**

### **3.1. Objetivos del proyecto**

El objetivo principal del proyecto es condicionar el circuito de velocidad del ParcMotor de Castellolí para poder realizar pruebas con coches autónomos. Para poder cumplir con el objetivo principal primero tendremos que alcanzar diversos objetivos secundarios relacionados con las instalaciones necesarias para acondicionar el circuito de velocidad. De esta manera será más fácil cumplir el objetivo principal.

Por otro lado, tendremos un objetivo paralelo que será entender y confeccionar un plan de empresa completo de nuestra propuesta.

### **3.2. Alcance del proyecto**

Nuestro proyecto al estar estructurado como un plan de empresa tendrá las limitaciones y alcance que tienen este tipo de proyectos. Por lo tanto, estudiaremos todo el proceso de un plan de empresa, desde el planteamiento de la solución, pasando por el estudio técnico y de mercado hasta el presupuesto y viabilidad económica. El único punto de un plan de empresa que no cubriremos por limitaciones de tiempo y técnicas es el estudio de marketing.



## 4. PLAN DE EMPRESA

### 4.1. Datos básicos de la empresa

#### 4.1.1. Introducción

El ParcMotor Castellolí es un complejo dedicado al motociclismo y automovilismo, tal y como se puede ver en la Figura 4.1. Éste se encuentra localizado en el pueblo de Castellolí, en la provincia de Barcelona, a unos 8 km de Igualada. Concretamente la dirección del circuito es Carretera Nacional Ila Km. 560, 08719 Castellolí. Este complejo ocupa una superficie de 100 hectáreas. Éste fue diseñado principalmente para la formación de pilotos, aunque también se disputan competiciones. La inauguración de la totalidad del complejo data del 7 de marzo de 2009.



Fig. 4.1. Imagen del complejo del circuito ParcMotor

#### **4.1.2. Historia:**

El proyecto de ParcMotor Castellolí se presentó oficialmente el 5 de noviembre de 2001. Este proyecto fue una idea de la Federación Catalana de Motociclismo que tuvo el apoyo de la Generalitat de Catalunya. Éste consistía en la construcción de un complejo para la práctica y la promoción del motociclismo y del automovilismo. Este complejo tendría que abarcar todo tipo de prácticas diferentes.

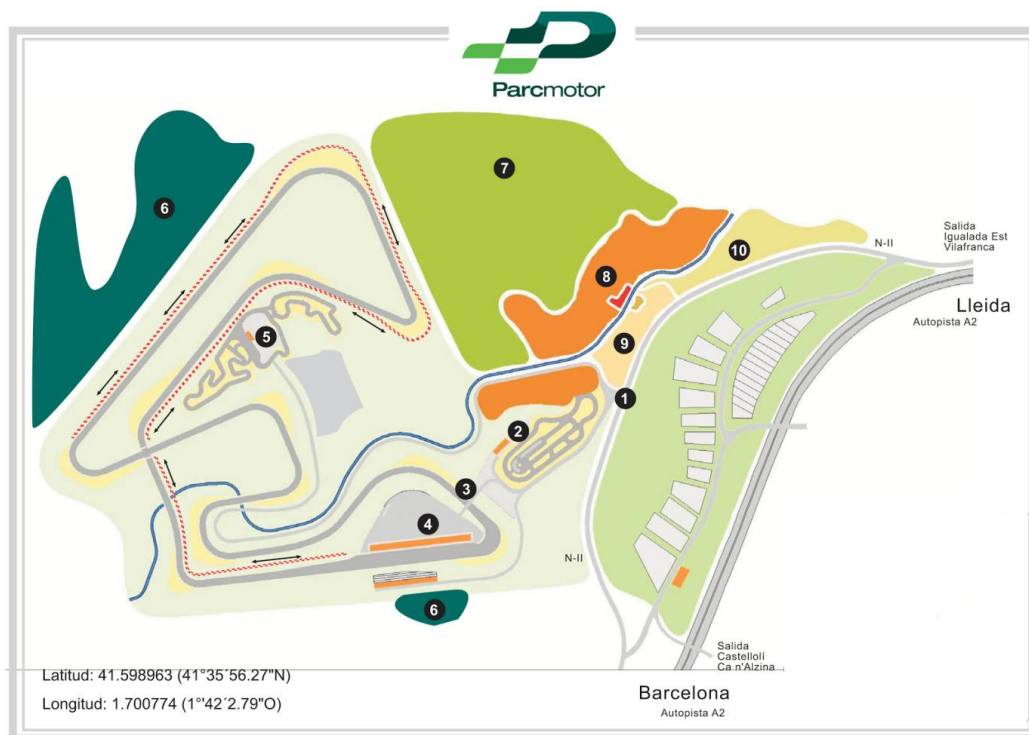
El complejo se fue construyendo progresivamente. En el año 2002 se inauguran las primeras instalaciones: un circuito de motocross, que acogerá en los años venideros varias pruebas y campeonatos como, por ejemplo, una carrera del campeonato de España. Aparte también se realizan otras actividades como cursos, jornadas técnicas, entrenamientos privados...

En abril de 2004 se inicia la construcción del circuito de velocidad que terminará el año 2009. En el año 2007 se inician dos nuevos proyectos: la construcción de un circuito de mini motos y de supermotard y una escuela de conducción.

Finalmente, el 7 de marzo de 2009 se inaugura el complejo.

### 4.1.3. Instalaciones:

El complejo ParcMotor Castellolí actualmente dispone de las instalaciones que se pueden observar en la Figura 4.2.



**Fig. 4.2.** Mapa del complejo del circuito ParcMotor

- |                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| 1. Entrada Principal instalaciones | 6. Zonas de Trial      |
| 2. Pista escuela FAST              | 7. Zona Enduro / 4x4   |
| 3. Oficinas ParcMotor              | 8. Circuito motocross  |
| <b>4. Pista Velocidad</b>          | 9. Paddock Motocross   |
| 5. Circuito Karting / Supermotard  | 10. Circuito de tierra |

En este trabajo nos centraremos en el circuito de velocidad



#### 4.1.4. Actividades:

Como podéis ver en el apartado anterior las instalaciones de ParcMotor Castellolí permiten realizar múltiples actividades. Las más relevantes son las siguientes: celebración de carreras de competición, entrenamientos de equipos, presentaciones y eventos para empresas particulares, cursos de formación de todo tipo de vehículos y situaciones y por último test de automóviles.

#### 4.1.5. Circuito de velocidades:

El circuito de velocidad se trata de un circuito de Gran Premio con 4,2 km de longitud y 10-12 m de ancho. El circuito cuenta con 14 boxes de 6x12m y dos paddocks, uno de 10.000m<sup>2</sup> y un de 4.000m<sup>2</sup>. Este circuito fue diseñado con la ayuda de pilotos profesionales como Alex Crivillé, Carlos checa o Toni Elías. Éste está homologado por la Federación Internacional de Motociclismo y la Federación Internacional del Automóvil.

Estas son las características del circuito que se puede observar en la Figura 4.3.

- Longitud total: 4.113,373 m
- Longitud de la recta de salida: 537,523 m
- Máxima longitud de recta (parte superior): 624,735 m
- Ancho de la recta de salida: 14 m
- Ancho de la recta del circuito: 12 m
- Ancho medio del circuito: 10 m
- Curvas a la derecha: 7
- Curvas a la izquierda: 4
- Pendiente máxima en subida: 8,79%
- Pendiente máxima en bajada: 8,09%
- Superficie total pádoc 11.402 m<sup>2</sup>

- Superficie boxes: 2.400 m<sup>2</sup>
- Superficie total pitlane 3.500 m<sup>2</sup>
- Superficie total zona pádoc 17.303 m<sup>2</sup>



[Fig. 4.3.](#) Imagen Aérea del complejo del circuito ParcMotor de Google Maps

## **4.2. Datos básicos del proyecto:**

### **4.2.1. Introducción:**

El Proyecto consistirá en el diseño de las infraestructuras necesarias para la adecuación del circuito de velocidad del “ParcMotor Castellolí” para la realización de pruebas con coches autónomos por parte de empresas. El circuito contará con la tecnología necesaria para llevar a cabo estos test de forma segura y eficiente. También ofrece otros servicios secundarios como la posibilidad de alargar el uso de las instalaciones a las horas nocturnas y el incremento de la seguridad.

La adecuación de este emplazamiento consta de tres componentes básicos: iluminación, cámaras y red de transmisión de datos.

A continuación, describiremos a grandes rasgos los elementos más importantes de los que consta este proyecto.

### **4.2.2. Coches autónomos:**

Los vehículos autónomos (coches sin conductor, robótico o auto-conducido) son automóviles con la capacidad de simular el manejo y control de los humanos. La característica que los define es poder percibir y entender el entorno que los rodea y desplazarse por él consecuentemente. Los pasajeros dentro del vehículo deberán marcar el destino, pero no se les requerirá ninguna maniobra mecánica para que éste llegue al lugar seleccionado.

Estos vehículos utilizan diferentes técnicas para conocer el entorno; láser, lidar, radar, sistema de posicionamiento global o visión computarizada. Mediante estas técnicas no solo identifican el recorrido óptimo, sino que también identifican obstáculos y la señalización de cada uno de los tramos recorridos. Para poder circular por estas rutas el sistema debe de tener programadas y cartografiadas cada una de las secciones de ésta, por lo contrario, el vehículo autónomo no podrá circular con normalidad o simplemente no las tendrá en cuenta en el momento de programar la ruta.

#### 4.2.2.1. Historia

La historia de los coches autónomos se remonta mucho más atrás en el tiempo de lo que imaginamos. La primera presentación oficial que se conoce de un vehículo autónomo fue en 1939, ésta consistía en un coche eléctrico que era controlado por un circuito eléctrico que se encontraba incrustado en el pavimento de la carretera.

En 1980 una furgoneta guiada por visión alcanzó los 100km/h en calles sin tráfico. El proyecto llevado a cabo por Mercedes-Benz fue subvencionado por la Comisión Europea con 800 millones de € para el proyecto EUREKA Prometheus que buscaba desarrollar un vehículo autónomo.

Unos de los avances que más han marcado la historia y evolución de los coches autónomos data del 1994, cuando los dos vehículos robots gemelos *VaMP* y *Vita-2* condujeron solos más de mil kilómetros en una autopista de París. Dicha conducción fue testada en días habituales con tráfico intenso a velocidades de 130 km/h. Estos dos gemelos demostraron que la conducción en carriles libres, en convoy y los cambios de carril a derecha e izquierda podían realizarse de forma autónoma. Aún que funcionaron de forma autónoma, eran necesarias pequeñas intervenciones humanas.

Actualmente a nadie le sorprende oír hablar de coches autónomos, desde 2014 que Audi anunció que su nuevo modelo RS7 iba a poder conducir de manera autónoma, es habitual poder leer sobre este tema en la prensa diaria. No solo Audi se ha sumado a la carrera por poder comercializar el coche autónomo, Google también sacó sus vehículos de las pistas de prueba para probarlos por las ciudades más transitadas de California.

En 2015 se puso en funcionamiento MCity, un pueblo creado para probar los coches autónomos. Este pueblo situado al sur de Michigan cuenta con calles de más de un kilómetro y medio, todo tipo de curvas, semáforos y rotondas simulando la circulación de las ciudades, etc...

Mientras la DGT aleja los coches autónomos que Tesla quiere empezar a introducir en España, en otros países como EEUU ya se empiezan a ver circular modelos autónomos por las carreteras convencionales. Por tanto, se puede decir que el coche autónomo ha dejado de ser un proyecto de investigación y ha pasado a ser una realidad.

#### **4.2.2.2. Ventajas e inconvenientes:**

Una de las ventajas más importante que nos ofrecen los vehículos autónomos es lo complejo y completo que son sus propiedades y características. Incluye todo tipo de consideraciones: análisis de velocidad, comportamiento de los vehículos y objetos que le rodean, y por supuesto la localización GPS exacta de su posición. Todo esto es tan preciso que virtualmente no debería existir ningún error cuando los sistemas están funcionando al 100%. A consecuencia de esto, el tráfico no será nunca más un problema, ya que éste está creado por la poca coordinación que existe entre todos los autos que están en las calles. Con vehículos que se manejen solos, no solo se eliminarían las señales de tráfico, ya que el propio vehículo conocería como es cada tramo a la perfección y las limitaciones que tiene cada uno, sino que los atascos se verían reducidos prácticamente a cero.

Otra de las grandes soluciones que aportarían estos coches recae en el problema del estacionamiento. Con los coches autónomos esto no sería un problema porque no necesitan un conductor para llevarlo a cabo. Así que, las personas que los usen podrían bajarse en su destino y el auto se mantendría buscando un sitio para estacionar por sí solo, o incluso, dar unas vueltas en la manzana mientras tanto.

Por otro lado, la seguridad vial se vería aumentada en gran medida respecto a los conductores humanos. Los vehículos no permitirán los excesos de velocidad en tramos peligroso y a su vez serán capaces de reaccionar en cualquier situación peligrosa de la mejor manera posible. Ya que los vehículos autónomos no pueden violar la ley, se reducirían las multas, los costes de la policía de tráfico y se reduciría los costes de los seguros.

Estos coches también permitirán que las personas que no sean capaces de conducir se puedan desplazar con el control automático con más facilidad. También reduce los costos e inconvenientes de los conductores humanos contratados (transporte público o vehículos comerciales). Los autobuses y taxis podrían desplazarse sin conductor alguno.

Por último, también remarcaremos la eficiencia económica y medioambiental que aporta el coche autónomo, sobretudo la eliminación de la contaminación que producen los vehículos convencionales en las grandes ciudades ya que estos serán todos eléctricos.

Por lo que hace a los principales inconvenientes, el primero es el miedo o rechazo que

pueda tener la sociedad a un cambio tan radical a una cosa tan cotidiana como el hecho de conducir. Esto puede afectar a la industria y a su vez provocar que la introducción de estos vehículos se realice de manera lenta a nuestras carreteras. Por otro lado, también influye el hecho que estos coches tienen un precio mucho más alto al de los autos convencionales. Aun, así como toda tecnología, lo más posible es que se abaraten con el paso del tiempo.

Los coches autónomos deberían funcionar sin ningún problema, pero la realidad es que todos los sistemas programados pueden dejar de funcionar o de tener errores en su código. Esto es molesto si pasa en un Smartphone, por ejemplo, pero en el caso de los autos, podría tener el potencial de causar grandes accidentes de tráfico.

Por último, al usar satélites en tiempo real para funcionar, perderíamos toda privacidad. Nuestro coche y por tanto nosotros estaríamos totalmente localizados en cualquier momento a tiempo real.

### 4.2.3. Iluminación

Actualmente el complejo ParcMotor Castellolí no cuenta con ningún tipo de iluminación en la pista de alta velocidad. A la hora de iluminar nos planteamos dos opciones:

- La primera consiste en iluminar el circuito siguiendo la normativa referente a la iluminación de carreteras en espacio abierto o referente a instalaciones deportivas. De esta manera se iluminaría el circuito para que pudieran circular automóviles con total seguridad durante las horas nocturnas y también se aseguraría la iluminación para temas de seguridad básicos de las instalaciones. Esta iluminación haría posible usar el circuito de velocidad durante las 24 horas del día.
- La otra posibilidad consiste en iluminar el circuito solo para asegurar los mínimos básicos de seguridad de la instalación. No podrían circular coches durante la tarde-noche.

Nosotros hemos decidido decantarnos por la primera opción e iluminar el circuito para que el circuito de velocidad funcione también en las horas nocturnas.

### 4.2.4. Cámaras:

Actualmente el circuito de velocidad de Castellolí no cuenta con ningún sistema de video vigilancia. La instalación de cámaras para la realización de pruebas con automóviles autónomos resulta fundamental por varios motivos:

- Seguridad: Al no disponer de cámaras en el circuito de velocidad los automóviles que estén disputando competiciones o pruebas de empresas pueden tener accidentes sin el conocimiento inmediato de los cuerpos de seguridad del circuito. Esto provoca que se aumenten el riesgo que sufren los pilotos ya que la respuesta de estos cuerpos es mucho más lenta, y en estas situaciones el tiempo es vital. Las imágenes grabadas también serán muy importantes para esclarecer los hechos de un accidente. Tanto como para los usuarios/empresas como para el propio circuito será de ayuda disponer de pruebas documentales para enfrentar posibles acciones legales.

- Control: Las cámaras proporcionarían a las empresas que realizan sus pruebas una manera de saber que ha hecho el automóvil durante todo el recorrido. Tanto para saber si ha habido un accidente, si ha habido maniobras extrañas, el motivo por el cual el coche se ha retrasado y un largo etcétera.

Por supuesto las cámaras son vitales si queremos acondicionar el circuito para que se hagan pruebas con coches autónomos. Aparte de proporcionar toda la información que previamente hemos indicado, también serviría para contrastar el comportamiento del coche en la pista con la información que nos llega desde el ordenador central. Por ejemplo: si vemos por las cámaras que se ha producido una maniobra extraña querremos ver la información que ha transmitido el ordenador central en ese momento, o se puede dar el caso contrario, que queramos ver como se refleja en el circuito una señal inusual que hemos detectado.

#### **4.2.5. Red de transmisión de datos:**

Una red de transmisión de datos será esencial para poder intercambiar información con los automóviles para saber que sucede en todo momento. También puede ser útil para otras aplicaciones que necesitemos.

Más adelante veremos cuáles son las necesidades de nuestro circuito y qué tipo de red de transmisión de datos necesitamos.



### 4.3. Estudio de mercado:

#### 4.3.1. Aspectos generales del sector y clientes potenciales:

Un artículo del ABC Motor [Eduardo Cano, 2016] [2] nos plantea el siguiente panorama:

*“Las empresas españolas tienen claro que lejos de echarle el freno a los coches autónomos, casi la mitad (49%) está a favor de incorporar estos vehículos a sus flotas, por considerarlos una solución eficaz para garantizar la seguridad de sus empleados en carretera, según la última edición del Observatorio del Vehículo de Empresa (CVO) promovido por Arval.*

*La apuesta no es exclusiva de las empresas españolas. Las europeas también apoyan en buena medida (46%) la entrada del coche autónomo en la flota. Eso sí, consideran que el empleado debe estar siempre sentado al volante, aunque no lo maneje, por lo menos hasta que esta tecnología esté completamente consolidada; algo en lo que los expertos no se ponen de acuerdo y que puede oscilar entre 10 y 20 años.”*

Por lo tanto, a mayor predisposición de las empresas a utilizar estos vehículos, mayor será la demanda. Lo que influye directamente a la necesidad de tener circuitos o lugar prediseñados para poder testear estos vehículos y asegurar que salen al mercado cuanto antes y con la mayor fiabilidad posible.

Por otro lado, tendremos que analizar que empresas se están planteando la fabricación y posterior comercialización de este tipo de coches, ya que serán nuestros clientes potenciales. Podemos empezar con el coche autónomo de Kia, que estará disponible entre el 2020 y 2030. Esta marca automovilística no ha querido precipitarse y ha marcado un amplio margen de una década. Un punto donde otras no han querido seguir la misma línea y han señalado una fecha más corta como SsangYong. El modelo SsangYongKorando, su primer vehículo Autónomo, que estará disponible en solo 3 años, tan pronto como el próximo año 2020. Otro modelo a tener en cuenta es el Nissan Leaf 2017, puesto que la marca de automóviles ha marcado su entrada al mercado también el año 2020. Aunque aún o han confirmado nada al respecto, el Grupo Volkswagen también trabajan en sistemas de conducción autónoma, buena prueba de ello es el Audi RS 7, que ha llegado a alcanzar los 305 km/h en circuitos cerrados sin un piloto físico que lo controle. No nos

podemos olvidar del proyecto conjunto de vehículo autónomo de Google y Fiat-Chrysler. El proyecto Waymo, que así se denominará desde ahora al programa del coche autónomo de Google, ya puede, por tanto, iniciar las pruebas reales con los Chrysler Pacífica híbridos que equipan los sistemas de conducción autónoma desarrollados por la compañía tecnológica. Por último, pero no menos importante, remarcaremos que la empresa estadounidense Tesla ya tiene sus primeros modelos circulando por EEUU, esta empresa se ha proclamado la pionera en esta modalidad de vehículos y quiere cambiar la manera de conducción que conocemos hasta ahora.

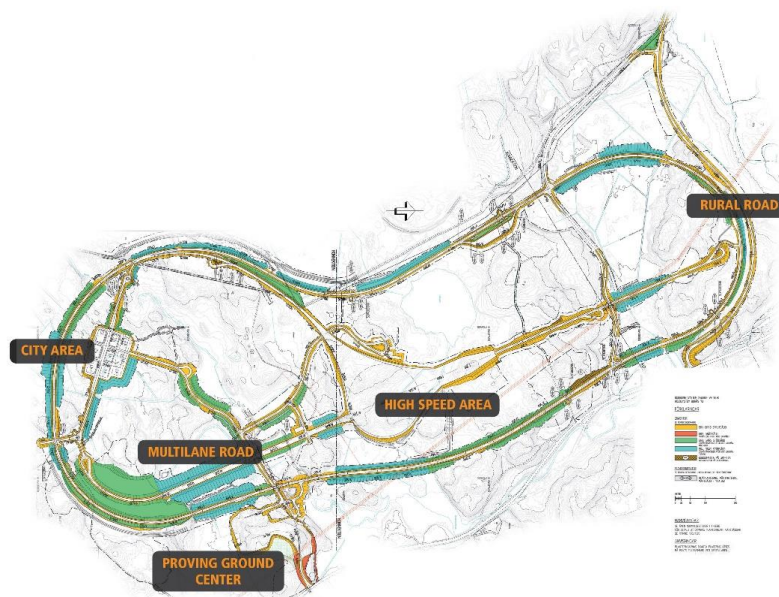
No solamente las empresas están dando un paso adelante por incorporar los coches autónomos a la vida cotidiana, sino que hace prácticamente 2 años la Dirección General de Tráfico ha aprobado el nuevo marco legal que permite la libre circulación de coches autónomos por las carreteras españolas y, poco después, PSA Peugeot Citroen ha hecho 599 km son conductor como 'prueba piloto' en un recorrido de Vigo a Madrid.

Por lo tanto, podemos concluir que el sector del automovilismo autónomo está en pleno apogeo y hay que prepararse para los años que llegan. Toda marca de vehículos deberá empezar a fabricar sus modelos y empezar a probarlos para no quedarse atrás en el sector.

#### 4.3.2. Análisis de la competencia:

La mayoría de vehículos autónomos se están probando en circuito abierto, sobretudo en Europa, hasta ahora conocida como el circuito de pruebas para estos vehículos de todo el mundo. Aunque no cualquier coche puede circular por circuito abierto; se requiere de unas pruebas anteriores que se deben de realizar en circuitos cerrados donde no se pueda poner en peligro ninguna vida humana.

Por otro lado, encontramos circuitos cerrados especializados para estos vehículos, como es el caso de Volvo AstaZero, un circuito que se encuentra a las afueras de Gotemburgo, donde esta empresa tiene su sede. También encontramos el ejemplo de Toyota que creó en 2012 una ciudad fantasma llamada Toyota City, con calles, carriles, cruces, semáforos, señales, etcétera. La cual podemos observar en la Figura 4.4.



[Fig. 4.4.](#) Imagen de Toyota City

Podemos ver como la competencia está en las mismas empresas que están creando sus circuitos para probar sus vehículos antes de poder circular por carretera. Pero no se conoce de una instalación de velocidad que ofrezca los servicios a las empresas para poder probar estos vehículos en sus instalaciones. Por lo tanto, este hueco en el mercado es el que nosotros queremos cubrir con nuestras instalaciones, el poder hacer las primeras pruebas de uso de los vehículos autónomos sin tener que construir un circuito cerrado propio.

#### **4.3.3. Debilidades y fortalezas de la empresa:**

La debilidad que le encontramos a nuestro modelo de negocio que puede influir más negativamente, es la falta de una zona de baja velocidad que simule las zonas urbanas y rurales. Ya que un coche autónomo debe de probarse en todo tipo de vías antes de poder circular por circuito abierto.

Para solucionar este problema nos hemos planteado como próximo proyecto el ampliar la zona de pruebas y remodelar las otras zonas del complejo de ParcMotor de Castellolí, con el fin de crear una zona que simule un circuito vial y así tener todo tipo de vías en nuestras instalaciones para poder realizar las pruebas de manera completa.

Por otro lado, nuestras instalaciones presentan muchas fortalezas frente a nuestros posibles competidores. En primer lugar, la situación geográfica es muy buena: está situado cerca de Barcelona lo que te permite estar cerca de una zona industrial a la vez que lo suficientemente aislado para poder realizar las pruebas de manera discreta y con total privacidad. Otra de las ventajas de nuestras instalaciones es la posibilidad de grabar los vehículos en todo momento, cosa que al circular por zonas abiertas no es posible. La instalación lumínica de nuestro circuito nos permite el uso de éste durante, no solamente las horas de luz solar, sino que también durante la noche.

## 4.4. Estudio técnico:

Antes de empezar a diseñar las infraestructuras necesarias para la adecuación del circuito de velocidad de Castellolí para realizar pruebas con coches autónomos, debemos saber que tecnología usa un automóvil autónomo porque ésta condiciona nuestras necesidades.

### 4.4.1. Tecnología del coche autónomo:

Para analizar la tecnología utilizada en los coches autónomos hemos abarcado una amplia gama de diferentes modelos. Entre estos diferentes modelos existen pequeñas variaciones tecnológicas y por tanto explicaremos en detalle las más utilizadas por las empresas que se están dedicando a este sector. Hay que puntualizar que en muchos casos los vehículos tienen sistemas redundantes con funcionalidades que se solapan para mejorar la seguridad. En la Figura 4.5 podemos observar el ejemplo de Google.



[Fig. 4.5.](#) Imagen del coche presentado por Google

A continuación, describimos las principales tecnologías:

- **GPS:** El GPS utilizado en los coches autónomos no difiere mucho de los utilizados en los coches convencionales de la actualidad, ofrece la localización del vehículo con un grado de exactitud aproximadamente entre 1,5-2 metros. Por lo tanto, este margen es demasiado grande para una conducción autónoma, con lo que la medición es depurada con la utilización de taquímetros, altímetros y giroscopios.

A consecuencia de esto, el vehículo necesita más sensores para poder conocer con exactitud la posición de nuestro vehículo y los objetos que le rodean. Para conocer mejor el terreno y los obstáculos que podamos encontrar utilizaremos:

- **Lidar:** Sistema de 64 láseres que realiza un escaneo continuo del entorno del vehículo identificando objetos, tiene una precisión de 2 cm.
- **Stereo Visión:** Dos cámaras montadas en el parabrisas permiten reconstruir una visión 3D de la carretera permitiendo detectar obstáculos.
- **Cámaras infrarrojos:** Se colocan junto a las luces delanteras. Emiten unas ondas que son recogidas por las cámaras de visión global y permiten la visión nocturna.
- **Guía de carril:** Consiste en una cámara colocada en el espejo retrovisor interno y que es capaz de distinguir entre los bordes de la carretera y la carretera.
- **Sensores de ruedas:** Las ruedas vienen dotadas de sensores que suministran datos de la conducción y de las maniobras que realiza el vehículo.
- **Sensores ultrasónicos:** Se colocan también en las ruedas y permiten identificar pequeños objetos o cambios en la carretera como bordillos, cunetas, al igual que otros vehículos mientras se aparca.
- **Radar:** Detecta obstáculos en puntos ciegos de otros sistemas.

Una vez conocemos con exactitud todo lo que nos rodea en cada momento gracias a los sensores que hemos comentado anteriormente, necesitamos un sistema central que analiza todas las señales recogidas y que tome las decisiones correctas a consecuencia de éstas.

- **Computador central:** Se trata del elemento “inteligente del vehículo”. Recibe todos los parámetros y variables, toma las decisiones y ejecuta las acciones, ordenando al motor que acelere, al volante que gire o al freno que detenga el vehículo. Lo podríamos considerar el cerebro de nuestro vehículo y el encargado de que nosotros lleguemos sanos y salvos a nuestro destino.

Por tanto, para la realización de nuestro trabajo nos centraremos en la comunicación del computador central y en la transmisión de todos los datos que puedan ser de interés, con la finalidad de analizar con precisión qué decisiones toma nuestro vehículo.

#### 4.4.2. Iluminación del circuito:

##### 4.4.2.1. Conceptos clave:

###### 4.4.2.1.1 Conjunto lámpara – luminaria:

Los puntos de luz que se usan para el alumbrado tanto exterior como interior están formados por una luminaria y una lámpara. Comúnmente el conjunto es conocido por lámpara llevando a cierta confusión a la hora de diferenciar estas dos partes. A continuación, vamos a definir las dos partes y comentar sus características.

**Luminaria:** Una luminaria se define como el aparato de alumbrado que reparte o filtra el haz de luz emitido por las lámparas que contiene en su interior. Una luminaria comprende todos los elementos necesarios para el soporte, la protección y fijación de las lámparas. También puede comprender los medios de conexión con la red de alimentación.

Los componentes más importantes de una luminaria que se observan en la Figura 4.6. son los siguientes:

- **Armadura o carcasa:** está fabricada con materiales resistentes a las condiciones de uso como la chapa de acero, chapa de aluminio, fundición de hierro, termoplásticos, vidrio... Según si es de interior o exterior y las condiciones meteorológicas será de un material o de otro. Es la parte donde se integran todos los otros elementos.
- **Equipo eléctrico:** formado por el portalámparas más los elementos necesarios para el arranque y funcionamiento de la lámpara.
- **Reflector:** superficies diseñadas para reflejar el flujo luminoso de la lámpara en la dirección deseada.
- **Difusor:** carcasa o pantalla que encierra la lámpara. Se usa para difundir el haz de luz y evitar deslumbramiento.
- **Filtro:** se acoplan con los difusores, para potenciar o disminuir la radiación ultravioleta o infrarroja, polarización de la luz en un plano o alteración de los colores de la radiación.
- **Refractor:** superficie que modifica la distribución del flujo luminoso de la lámpara por refracción.
- **Junta:** elemento de goma que aporta a la luminaria el grado de estanqueidad

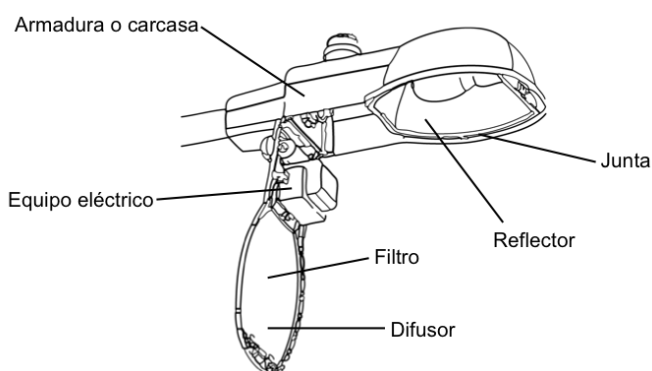


Fig. 4.6. Estructura del sistema lámpara - luminaria



Las funciones más importantes de las luminarias son:

- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio. Orientándola a la superficie que queremos iluminar.
- Evitar un deslumbramiento y un brillo excesivo que puedan ser molestos para el usuario.
- Satisfacer los requerimientos estéticos del ambiente donde sean instaladas.
- Optimizar el rendimiento energético. Aprovechar la mayor cantidad de flujo luminoso emitido por las lámparas.
- Proteger la lámpara de las condiciones meteorológicas o de posibles golpes, roturas...

Las luminarias se clasifican según su utilización básicamente en dos grupos: luminarias de interior y de exterior. Dentro de este último grupo hay de varios tipos. En concreto para este proyecto se utilizarán luminarias para alumbrado funcional vial o luminarias para instalaciones deportivas, llamadas “floodlights”. Éstas se caracterizan por tener una calidad y resistencia máximas, en cambio el diseño se obvia totalmente. En la siguiente Figura 4.7. podemos encontrar un ejemplo de luminaria funcional vial Residium.



Fig. 4.7. Imagen del sistema lámpara-luminaria

**Lámpara:** Por lo que respecta a la lámpara ésta es el dispositivo que produce la luz. Las lámparas deben presentar una serie de características para la seguridad de los usuarios frente a los contactos eléctricos. También se tienen en cuenta aspectos como la economía o la estética.

Las características más importantes de las lámparas son: la eficacia luminosa, la temperatura de color, la potencia y el flujo luminoso.

Debemos estudiar los tipos de lámparas que se suelen utilizar para este tipo de proyectos y analizar cuál de ellas nos interesa en nuestro caso.

- **Soporte:** El conjunto luminaria-lámparas (se puede observar en la Figura 4.8. sus posibles estructuras) es sostenido por un soporte. Éstos tienen la función de mantener la luminaria en la posición necesaria, por ejemplo, mediante: brazos, báculos, columnas, etc.

Los factores a tener en cuenta para la elección del soporte son:

- Altura y saliente: factores que afectan a la distribución luminosa
- Resistencia del material que lo compone
- Diseño para resistir la acción del viento y sollicitaciones mecánicas
- Facilidad de instalación y mantenimiento



Fig. 4.8. Tipos de estructura y disposición de luminarias

#### 4.4.2.1.2 Características principales de las luminarias:

La elección de la luminaria nos determinará unos factores que son muy relevantes a la hora de iluminar la superficie deseada. Los factores más importantes que tenemos que tener en cuenta para nuestra elección son los siguientes.

##### 4.4.2.1.2.1 Distribución del flujo luminoso - Diagrama Polar:

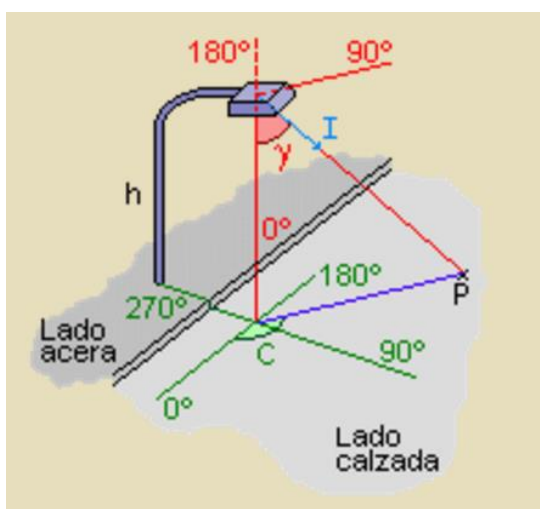
La distribución del flujo luminoso define cómo se distribuye el flujo radiado de la luz en cada dirección. La elección de la luminaria limitará como se distribuye el haz de luz. Una mala elección de la luminaria comportará que mucha luz sea desperdiciada (porque ilumina zonas que no son de interés) y, por lo tanto, nuestra instalación lumínica será ineficiente. La Figura 4.9. ilustra perfectamente cómo varía el haz de luz según la luminaria utilizada.



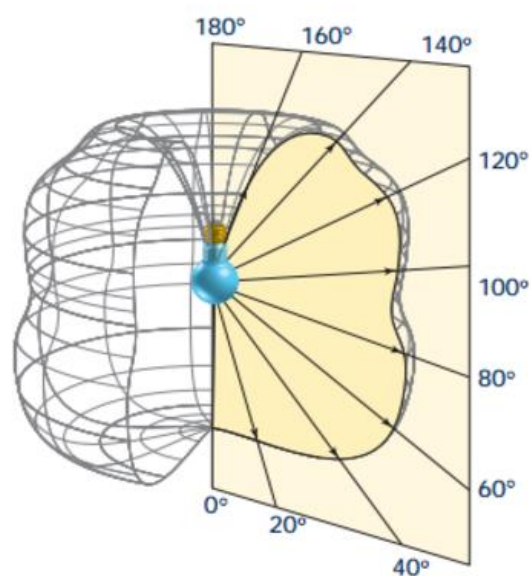
[Fig. 4.9.](#) Efecto de la luminaria en el haz de luz

La distribución del flujo luminoso que caracteriza a una luminaria se define en función de tres coordenadas ( $I$ ,  $C$ ,  $Y$ ) que se pueden ver representadas en la Figura 4.10.  $I$  representa el valor numérico de la intensidad luminosa. Mediante  $C$  y  $Y$  se representa la dirección de ésta intensidad. El ángulo  $C$  nos dice en qué plano vertical nos encontramos y  $Y$  mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. Los gráficos se normalizan para una lámpara de referencia de 1000 lm.

Estas tres coordenadas forman un volumen llamado sólido fotométrico (Figura 4.11.) que determina la distribución luminosa en todo el espacio.

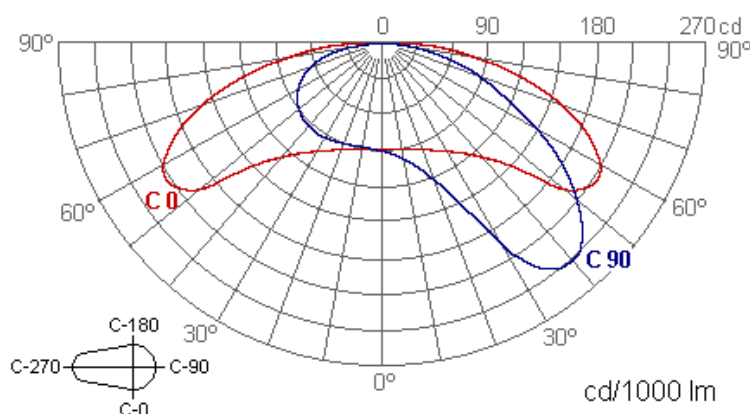


[Fig. 4.10.](#) Sistema de coordenadas (I, C, Y)



[Fig. 4.11.](#) Sólido fotométrico

Dada la dificultad de trabajar en tres dimensiones se realizan cortes al sólido fotométrico como el de la imagen anterior. De esta manera se obtiene una curva de dos dimensiones:  $I$  y  $Y$  en el plano de  $C$  deseado. Esta curva se conoce como diagrama polar (Figura 4.12.) o curva de distribución luminosa. En este diagrama normalmente se representan los planos transversal y longitudinal que corresponden con los ángulos  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . Si el valor de la intensidad máxima no está representado en estos dos planos se añade el plano en la que se encuentra.

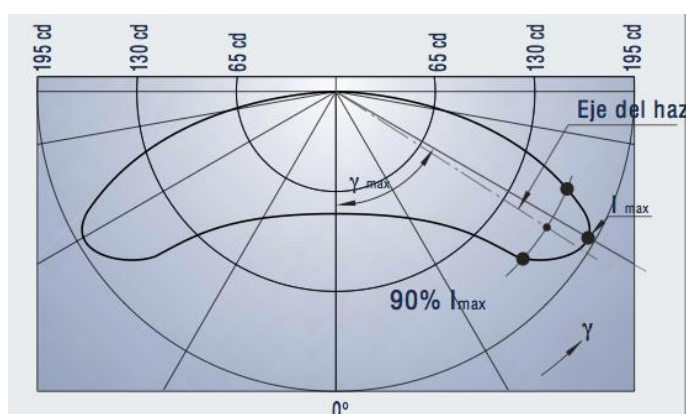


[Fig. 4.12.](#) Diagrama polar

#### 4.4.2.1.3 Alcance, dispersión y control de las luminarias:

Las luminarias de alumbrado público se clasifican en función de tres características: el alcance, la apertura y el control

- El alcance de la luminaria (Figura 4.13) es la distancia que alcanza la luz en dirección longitudinal. Para cuantificar el alcance de la luminaria se calcula el ángulo máximo en el plano de  $C$  donde se encuentra la  $I_{\max}$ .  $Y_{\max}$  es el ángulo que está definido por la vertical dirigida hacia abajo y el eje del haz, que se calcula como la bisectriz del ángulo que forman las direcciones para el 90% de la intensidad máxima. Con el criterio del alcance, se determina la separación entre luminarias.



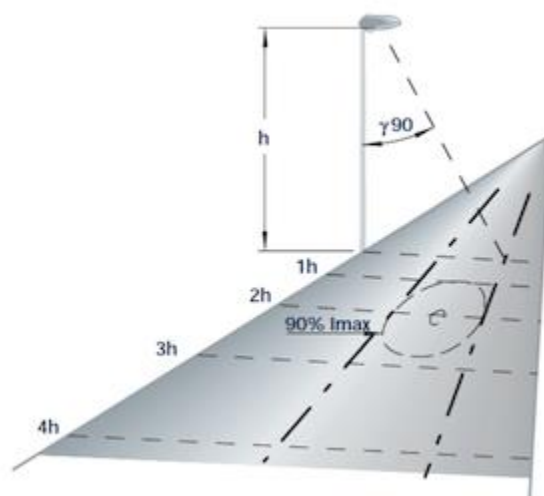
**Fig. 4.13.** Alcance de una luminaria

Las luminarias se clasifican en función del ángulo  $Y_{\text{máx}}$  de la manera que vemos representado en la Figura 4.14.

$Y_{\text{máx}}$	ALCANCE
$Y_{\text{máx}} < 60^\circ$	Alcance corto
$70^\circ < Y_{\text{máx}} < 60^\circ$	Alcance medio
$Y_{\text{máx}} > 70^\circ$	Alcance largo

**Fig. 4.14.** Tabla alcance

- La dispersión es la distancia (Figura 4.15.), determinada por el ángulo  $Y_{90\%}$ , que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Está definida por la línea, paralela a la calzada, que es tangente a la curva del  $Y_{90\%}$  de la intensidad máxima proyectada sobre la calzada. De las dos posibles soluciones siempre se elige la que está más alejada de la luminaria. Con el criterio de la apertura se determina la altura del montaje ya que cuanto más apertura más ancha de vía se ilumina.



[Fig. 4.15.](#) Dispersión de una luminaria

En función de la dispersión las luminarias se clasifican según la Figura 4.16.

$\Upsilon_{90\%}$	DISPERSIÓN
$\Upsilon_{90\%} < 45^\circ$	Dispersión estrecha
$45^\circ < \Upsilon_{90\%} < 55^\circ$	Dispersión media
$\Upsilon_{90\%} > 55^\circ$	Dispersión ancha

[Fig. 4.16.](#) Tabla dispersión

- El control de la luminaria indica la capacidad para controlar el deslumbramiento. Se define mediante el SLI (índice específico de la luminaria).

El SLI se calcula como muestra la ecuación (Ec. 4.1.).

$$SLI = 13,84 - 3,31 * \log(I_{80}) + 1,3 * \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0,5} - 0,08 * \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right) + 1,29 * \log(F) + C \quad (\text{Ec. 4.1.})$$

Donde:

- $I_{80}$ : Intensidad luminosa emitida a un ángulo de elevación  $\gamma=80^\circ$  en el plano de la calzada.
- $I_{88}$ : Intensidad luminosa emitida a un ángulo de  $\gamma=88^\circ$
- F: Superficie de la luminaria vista bajo un ángulo de  $76^\circ$
- C: Factor de corrección de color que tenga la lámpara

En función del grado de control las luminarias se clasifican según la Figura 4.17.

SLI	GRADO DE CONTROL
$SLI < 2$	Control limitado
$2 < SLI < 4$	Control moderado
$SLI > 4$	Control estricto

[Fig. 4.17.](#) Tabla del Grado de Control



Según las características de la superficie que se quiere luminaria elegiremos unas luminarias con un alcance y dispersión determinados. De esta manera se conseguirá una iluminación más eficiente reduciendo costes. En nuestro caso nos convienen unas luminarias con un alcance largo, ya que así se reducen el número de luminarias que debemos utilizar reduciendo el coste. Por lo que respecta a la dispersión, dado que nuestra calzada no tiene un ancho grande, una dispersión media es suficiente.

#### 4.4.2.1.4 Factor de mantenimiento:

El factor de mantenimiento ( $f_m$ ) es una medida de la disminución que sufre el flujo luminoso emitido por la luminaria con el paso del tiempo. Esta disminución se debe a dos motivos: por la depreciación del flujo de la lámpara a causa del uso y por el ensuciamiento de la luminaria como consecuencia del entorno en que se encuentra.

Se considera que el valor máximo es 0.8. En la siguiente tabla (Figura 4.18.) podéis encontrar los diferentes valores que se usan según los dos factores comentados antes.

<b>Factor de mantenimiento</b>		
<b>Características de la vía</b>	<b>Luminaria abierta</b>	<b>Luminaria cerrada</b>
Limpia	0,75	0,80
Media	0,68	0,70
Sucia	0,65	0,68

[Fig. 4.18.](#) Tabla del factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento interesa que sea el más grande posible ya que de esta manera se aprovechará más el flujo emitido por la lámpara y se reducirá el coste.

En nuestro caso utilizaremos luminarias cerradas y dado que el grado de utilización del circuito no será tan elevado como en una carretera convencional consideraremos que la vía está limpia. Por lo tanto, el valor del factor de mantenimiento será 0.8.

#### 4.4.2.1.5 Factor de utilización o coeficiente de utilización:

El factor de utilización (k) es la relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar, flujo útil y el flujo total emitido por una luminaria. En nuestro caso el flujo útil será el que llegue a la calzada de la pista. El factor de utilización (Ec. 4.2) se calcula como el cociente entre el flujo útil  $\phi_u$  y el emitido por la lámpara  $\phi_L$ .

$$k = \frac{\phi_u}{\phi_L} \quad (\text{Ec. 4.2.})$$

El factor de mantenimiento se representa mediante unos gráficos que suministran los fabricantes de las luminarias. Éste se representa en función del cociente entre el ancho de la superficie que queremos iluminar, en este caso la calzada, y la altura del montaje de las luminarias.

En la siguiente Figura 4.19. se ve cómo se obtiene el valor del coeficiente de utilización usando las curvas explicadas anteriormente. Para calcularlo de manera correcta hay que tener en cuenta que superficie es la que queremos iluminar y, en consecuencia, ver si ésta se encuentra a la derecha o a la izquierda del eje vertical que va desde la luminaria hasta la superficie. En el ejemplo mostrado hay una superficie a la izquierda y a la derecha de dicho eje y, es por eso que se obtienen los dos rendimientos y se suman.

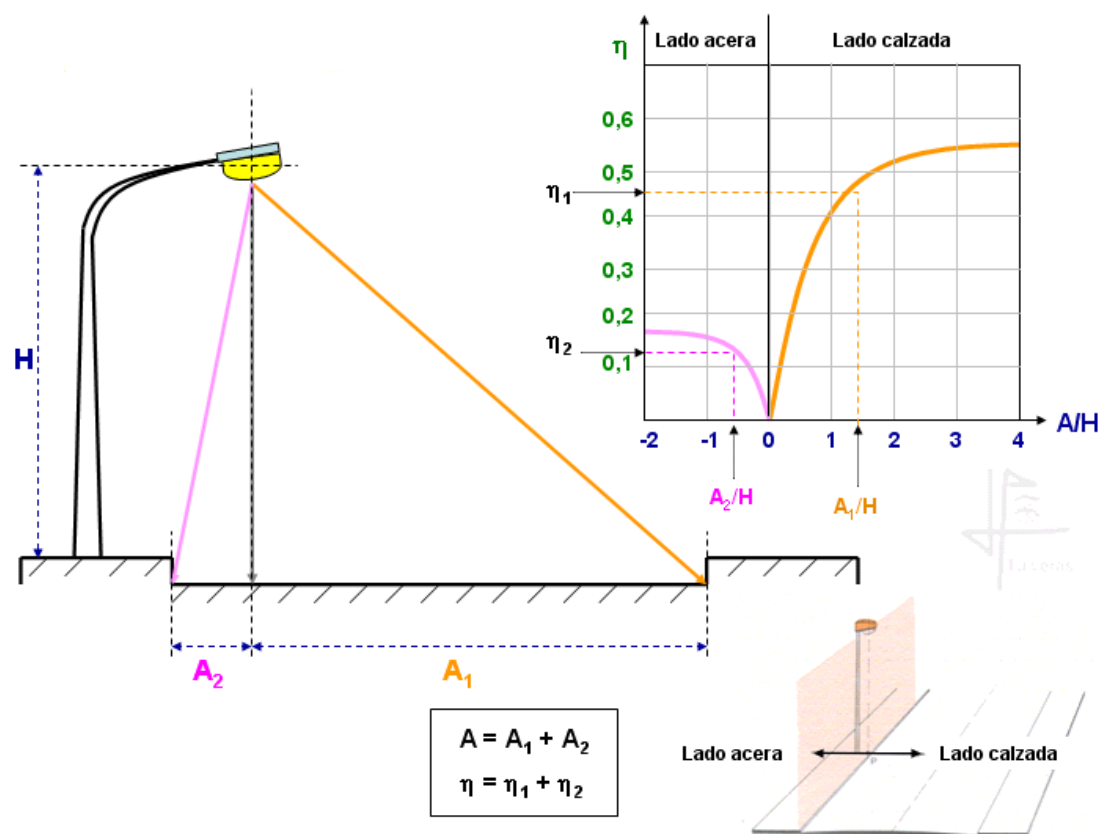


Fig. 4.19. Obtención del coeficiente de utilización

Este coeficiente interesa que sea cuanto mayor mejor ya que eso quiere decir que se aprovecha al máximo el flujo luminoso de la lámpara.

#### 4.4.2.1.6 Eficiencia energética:

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior (Ec. 4.3.) se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S \cdot E_m}{P} * \left( \frac{m^2 \cdot lux}{W} \right) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

- $\varepsilon$  = eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior ( $m^2 \cdot lux/W$ )
- P = potencia activa total instalada (W)
- S = superficie iluminada ( $m^2$ )
- $E_m$  = iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux)

Según la Instrucción Técnica Complementaria ITC-EA-01 las instalaciones de alumbrado vial independientemente de las luminarias, tipo y geometría de superficie, deben cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética que vemos representados en la Figura 4.20.

Iluminancia media en servicio $E_m(\text{lux})$	EFICIENCIA ENERGÉTICA MÍNIMA $\left( \frac{m^2 \cdot lux}{W} \right)$
$\geq 30$	22
25	20
20	17,5
15	15
10	12
$\leq 7,5$	9,5

Nota - Para valores de iluminancia media proyectada comprendidos entre los valores indicados en la tabla, la eficiencia energética de referencia se obtendrán por interpolación lineal

**Fig. 4.20.** Tabla de eficiencia energética mínima

#### 4.4.2.2. Normativa:

##### 4.4.2.2.1 Artículos de referencia:

Para saber qué requisitos de iluminación existen según tenemos que revisar toda la normativa referente a este tema. Toda la información que hay a continuación está extraída de la serie de normas UNE – EN 13201 que trata sobre la iluminación de carreteras; en concreto las que se encuentran en nuestro campo de actuación son las siguientes:

- UNE-EN 13201-2:2004: ILUMINACIÓN DE CARRETERAS. PARTE 2: REQUISITOS DE PRESTACIONES.
- UNE-EN 13201-3:2004: ILUMINACIÓN DE CARRETERAS. PARTE 3: CÁLCULO DE PRESTACIONES.
- UNE-EN 13201-3:2004/AC:2007: ILUMINACIÓN DE CARRETERAS. PARTE 3: CÁLCULO DE PRESTACIONES.
- UNE-EN 13201-4:2005: ILUMINACIÓN DE CARRETERAS. PARTE 4: MÉTODOS DE MEDIDA DE LAS PRESTACIONES DE ILUMINACIÓN.

También hemos de cumplimentar los dos siguientes reglamentos: el reglamento electrotécnico de baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto; en concreto la instrucción técnica complementaria ITC-BT 09 y el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias.

El primero de estos dos reglamentos, en cuanto al estudio luminotécnico que nos ocupa, nos limita las luminarias que podemos usar. En concreto de las características y soportes de éstas.

- Características: "Las luminarias utilizadas en el alumbrado exterior serán conformes la norma UNE-EN 60.598-2-3 y la UNE-EN 60.598-2-5 en el caso de proyectores de exterior."
- Soportes: "Los soportes de las luminarias de alumbrado exterior, se ajustarán a la normativa vigente (en el caso de que sean de acero deberán cumplir el RD 2642/85, RD 401/89 y OM de 16/5/89). Serán de materiales resistentes a las acciones de la

intemperie o estarán debidamente protegidas con éstas, no debiendo permitir la entrada de agua de lluvia ni la acumulación de agua de condensación.”

En cuanto al segundo reglamento éste tiene por objeto establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad, de:

- Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero
- Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

También existe normativa en cuanto a la iluminación de instalaciones deportivas. Pero por lo que respecta a circuitos de velocidad en las que se realizan competiciones de motor no hay normativa.

Por esta falta de normativa y por la intención de recrear en el circuito las condiciones lumínicas que se encontraría un automóvil cualquiera al circular por carretera hemos considerado al ParcMotor de Castellolí como una vía y no como una instalación deportiva. De esta manera nos aseguramos de que la iluminación será suficiente para circular durante las horas nocturnas.

La normativa referente a la iluminación de carreteras especifica unos valores diferentes según el tipo de vía y otras consideraciones. Es por eso que primero tenemos que determinar estos aspectos.

#### 4.4.2.2.2 Tipo de vía:

Para seleccionar el tipo de vía nos hemos basado en el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias.

Este decreto clasifica las vías según la velocidad, como podemos ver en la Figura 4.21. nuestra vía se encuentra en la categoría A.

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	--
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

[Fig. 4.21.](#) Tabla Clasificación de vías según velocidad

Dentro de esta clasificación encontramos una subdivisión en función de los usuarios que se les permite circular por esta. Lo podemos ver en la Figura 4.22.

Velocidad típica del usuario principal km/h.	Tipos de usuario en el mismo área			Conjuntos de situaciones de alumbrado	Tipos de vías de circulación
	Usuario principal	Usuario autorizado	Usuario excluido		
> 60	Tráfico motorizado		Vehículos lentos Ciclistas Peatones	A1	Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autovías). Carreteras de calzada única de doble sentido de circulación y accesos limitados.
		Vehículos lentos	Ciclistas Peatones	A2	Carreteras interurbanas sin separación de aceras o de carriles bici
		Vehículos lentos Ciclistas Peatones		A3	Rondas de circunvalación. Carreteras interurbanas con accesos no restringidos.

[Fig. 4.22.](#) Tabla del tipo de usuarios que pueden circular

Una vez analizada la vía concluimos que el conjunto de situaciones de alumbrado es de tipo A1, ya que el usuario principal será el tráfico motorizado y los vehículos lentos, ciclistas y peatones estarán excluidos.

#### 4.4.2.2.3 Clase de alumbrado:

Según el criterio de clases de alumbrado para vías tipo A1 en el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, se establece lo mostrado en la Figura 4.23.

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado <sup>(*)</sup>
A1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Carreteras de calzadas separadas con cruces a distinto nivel y accesos controlados (autopistas y autovías).</b></li> </ul>	
	Intensidad de tráfico	
	Alta (IMD) $\geq 25.000$ .....	ME1
	Media (IMD) $\geq 15.000$ y $< 25.000$ .....	ME2
	Baja (IMD) $< 15.000$ .....	ME3a
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Carreteras de calzada única con doble sentido de circulación y accesos limitados (vías rápidas).</b></li> </ul>	
	Intensidad de tráfico	
	Alta (IMD) $> 15.000$ .....	ME1
	Media y baja (IMD) $< 15.000$ .....	ME2

[Fig. 4.23.](#) Tabla de las clases de alumbrado según la vía

Se recomienda que en caso que puedan adoptarse distintas clases de alumbrado se seleccione el que responda al nivel de exigencia más crítico. Éste es el caso de nuestro circuito el cual está pensado para realizar pruebas de simulación real de carreteras viales y por lo tanto tendremos situaciones con mucho y poco tráfico. En consecuencia, escogeremos la clase de alumbrado más restrictivo. Es decir, ME1.



#### 4.4.2.2.4 Valores específicos de ME1:

Los criterios de calidad usados para caracterizar las distintas clases de alumbrado son:

- Luminancia media de la superficie de la calzada ( $L_m$ ).
- Uniformidad global de luminancia ( $U_0$ ).
- Uniformidad longitudinal de luminancia ( $U_L$ ).
- Relación de entorno (SR).
- Incremento de umbral (TI en %).

Los niveles de luminancia media ( $L_m$ ) que se describen en la siguiente tabla son los niveles medios de referencia basados en la normativa que previamente hemos indicado. Los valores máximos de la luminancia media no podrán superar el 20 % de los niveles medios de referencia. En cuanto al valor mínimo de  $L_m$  no se indica en la normativa ningún valor de obligatorio cumplimiento.

Por lo que respecta a los niveles de ambas uniformidades son valores mínimos de cumplimiento obligatorio. Asimismo, alcanzar unos valores mínimos de la relación entorno (SR) y no superar los niveles máximos de deslumbramiento (TI) no es obligatorio, pero se recomienda ceñirse a estos para cumplir con los criterios de seguridad de los usuarios de las vías de tráfico.

Una vez sabemos el tipo de alumbrado que debemos instalar (ME1), estudiamos las características de éste. Las encontramos en la Figura 4.24.

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia <sup>(4)</sup> Media $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	Uniformidad Global $U_0$ [mínima]	Uniformidad Longitudinal $U_L$ [mínima]	Incremento Umbral $TI$ (%) <sup>(2)</sup> [máximo]	Relación Entorno $SR$ <sup>(3)</sup> [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

<sup>(2)</sup> Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

<sup>(3)</sup> La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

<sup>(4)</sup> Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

**Fig. 4.24.** Tabla de características del alumbrado

- $L_m = 2$  (valor medio)
- $L_m = 2,4$  (máxima)
- $U_0 = 0.4$  (mínima)
- $U_L = 0.7$  (mínima)
- $TI = 10$  (máxima)
- $SR = 0.5$  (mínima)

Estos valores son los que usaremos como referencia para iluminar el circuito de velocidad de Castellolí.

#### 4.4.2.3. Estudio luminotécnico:

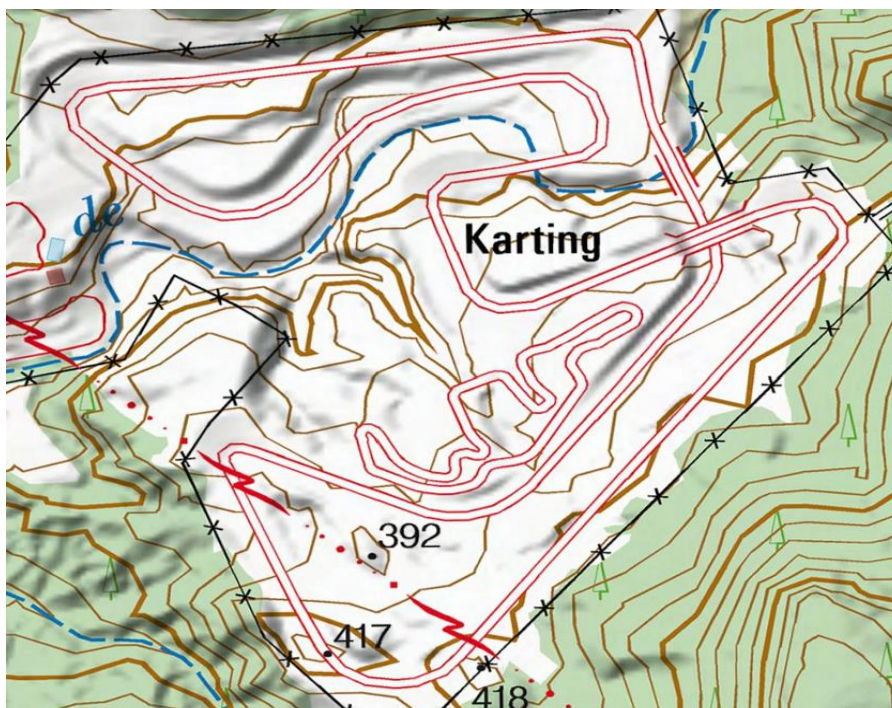
##### 4.4.2.3.1 Herramientas tecnológicas:

Actualmente el ParcMotor Castellolí no cuenta con ningún tipo de iluminación en la pista de alta velocidad. Con tal de alargar las horas de funcionamiento de éste y de conocer el gasto que supondría la implantación de la iluminación necesaria hemos realizado hacer un estudio luminotécnico del circuito usando AutoCAD y DIALux. Estos dos programas los describiremos brevemente a continuación.

- AutoCAD es un software de diseño asistido por ordenador utilizado para dibujo 2D y modelado 3D. Éste es ampliamente conocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que posibilitan el dibujo digital de planos de edificios entre otras muchas funciones. Es uno de los programas más usados por ingenieros, arquitectos, diseñadores industriales. Este programa lo usaremos para hacer un dibujo en 2D del circuito de alta velocidad para, a continuación, exportarlo a DIALux y, de esta manera, poder hacer el estudio luminotécnico.
- DIALux es un software gratuito de DIAL que permite crear proyectos de iluminación profesionales. Este software facilita la tarea de diseñar sistemas de iluminación tanto para interiores como exteriores. DIALux también calcula el consumo energético de su proyecto de iluminación. Este software es uno de los más utilizados actualmente para todo tipo de proyectos que requieran de un estudio luminotécnico.

Al no disponer de planos digitales del circuito de alta velocidad se ha recurrido a otras técnicas para el dibujo de éste. En concreto se ha calcado el dibujo de una imagen sacada con GoolZoom. Este es un servicio que utiliza GoogleMaps como base y que integra distintas fuentes de datos de información geográfica. Esta aplicación tiene como objetivo simplificar el acceso a todo tipo de datos geográficos de dominio público como la cartografía de catastro, topografías, orto fotografías...

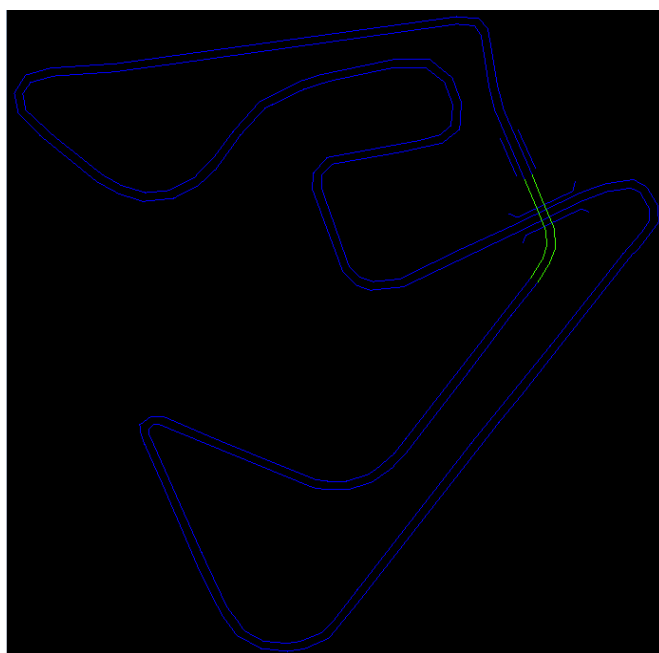
Una vez extraída la imagen (Figura 4.25.), en concreto una cartografía raster, la insertamos en AutoCAD para calcarla.



[Fig. 4.25.](#) Cartografía raster del circuito

En esta la Figura 4.25. se pueden apreciar dos circuitos. El circuito de interés es el más grande, el otro es un circuito de karts.

Usando un gran número de líneas dibujamos el circuito de alta velocidad encima de la imagen de manera que se reproduzca de manera fiel la geometría de esta. Una vez calcado escalamos el dibujo a partir de una distancia que se cumpla en todo el circuito. Una vez completado este proceso ya tenemos el circuito dibujado en AutoCAD (Figura 4.26.) listo para importarlo a DIALux y empezar con el estudio luminotécnico.



[Fig. 4.26.](#) Imagen del circuito en AutoCAD

#### 4.4.2.3.2 Modelos de luminaria:

Teniendo en cuenta todos estos factores se procede a la búsqueda de modelos de luminarias que cumplan con las condiciones que nos hemos marcado. Buscamos luminarias con valores altos de alcance, dispersión, factor de mantenimiento y factor de utilización. Estos son algunos de los modelos ordenados según la intensidad luminosa:

1. INDY 1 - 70W SE GW86903 de la marca GEWISS. Este modelo de luminaria es un modelo para alumbrado vial funcional. Esta posee las características mostradas en la Figura 4.27.

1 x Lámpara de vapor de sodio a baja presión			
Potencia nominal de lámpara	70 W	Enchufe	E27
Flujo de lámpara	6300 lm	LOR	73 %
Eficiencia luminosa	58 lm/W	Flujo total	4625 lm
CCT	2000 K	Potencia total	80 W
CRI	25		

Fig. 4.27. Características de la Lámpara de vapor de sodio a baja presión

Su aspecto y su diagrama polar se pueden ver representados en la Figuras 4.28.

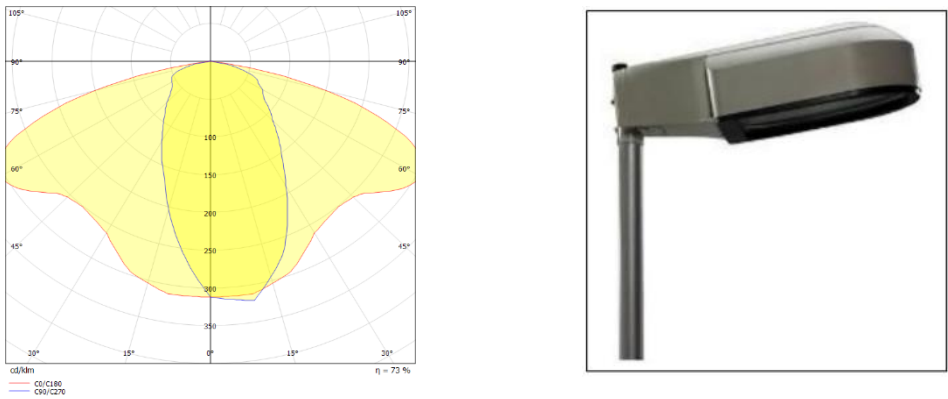


Fig. 4.28. Aspecto y diagrama polar de la Lámpara de vapor de sodio a baja presión

Tal como se ve en el diagrama polar (Figura 4.28.) esta luminaria cuenta con un alcance y dispersión elevados. Por lo que respecta al factor de mantenimiento tal como hemos comentado previamente será de 0,8.

Para calcular el factor de utilización disponemos de un dato que nos da el fabricante: LOR. Este valor indica la relación entre el flujo emitido por la luminaria y el producido por la lámpara. En nuestro caso este valor, dado que nuestra calzada es ancha y larga, será prácticamente el mismo que el factor de utilización. Por lo tanto, CU = 73%.

Respecto a la intensidad luminosa, tal como hemos comentado anteriormente, en el gráfico es en referencia a una lámpara de 1000 lm. Para calcular el verdadero valor hemos de utilizar la Ecuación 4.4.

$$I_{real} = \Phi_{lámpara} * \frac{I_{gráfico}}{1000} \quad (\text{Ec. 4.4.})$$

Entonces el valor de la intensidad luminosa máximo real es aproximadamente 2047 cd.

2. BVP506 GC T35 WG 1xGRN127-2S/740 DN de la marca PHILIPS. Este modelo de luminaria es un foco. Está pensado para iluminar grandes áreas. Esta posee las características mostradas en la Figura 4.29.

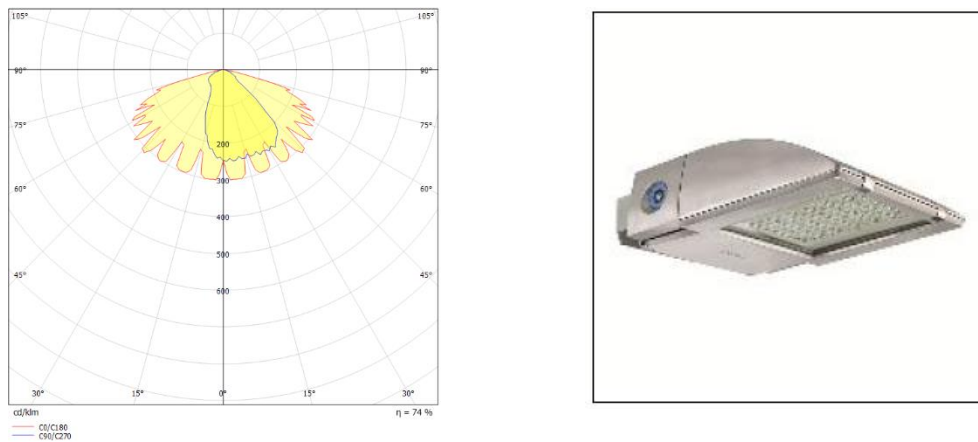
#### 1 x GRN127-2S/740

Potencia nominal de lámpara		LOR	74 %
Flujo de lámpara	12688 lm	Flujo total	9350 lm
Eficiencia luminosa	80 lm/W	Potencia total	116,6 W
CCT	3000 K		
CRI	99		

[Fig. 4.29.](#) Características de la Lámpara GRN127-2S/740



Su aspecto y su diagrama polar se pueden ver representados en la Figuras 4.30.



**Fig. 4.30.** Aspecto y diagrama polar de la Lámpara GRN127-2S/740

Tal como se ve en el diagrama polar (Figura 4.30.) está luminaria cuenta con un alcance y dispersión medias, no tan elevadas como en el caso de la primera luminaria. Por lo que respecta al factor de mantenimiento tal como hemos comentado previamente será de 0.8.

Por lo que respecta al CU, éste será del 74%, prácticamente el mismo que en el caso de la primera luminaria. Respecto a la intensidad luminosa, después de hacer los mismos cálculos que previamente hemos comentado, obtenemos el valor máximo real que es aproximadamente de 3086 cd. Es decir, utilizando la Ecuación 4.4.



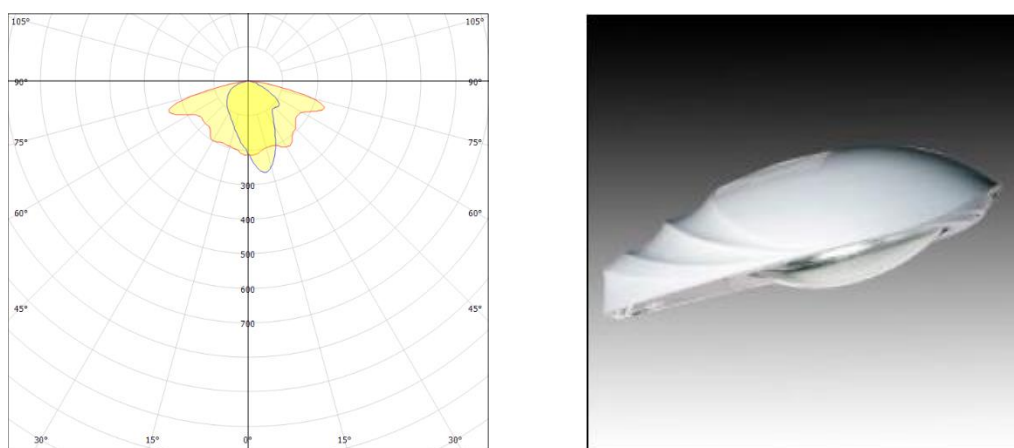
3. NRM030/250W de la marca NVC lighting. Es un modelo para alumbrado vial. Esta posee las características mostradas en la Figura 4.31.

**1 x Lámpara de halogenuro metálico**

Potencia nominal de lámpara	250 W	Enchufe	E40
Flujo de lámpara	20500 lm	LOR	77 %
Eficiencia luminosa	61 lm/W	Flujo total	15871 lm
CCT	4500 K	Potencia total	261,2 W
CRI	65		

**Fig. 4.31.** Características de la Lámpara de halógeno metálico

Su aspecto y su diagrama polar se pueden ver representados en la Figuras 4.32.



**Fig. 4.32.** Aspecto y diagrama polar de la Lámpara de halógeno metálico

Esta luminaria tiene un alcance similar al primer modelo y una dispersión más grande que las otras dos. El coeficiente de mantenimiento será de 0.8. EL CU será del 77%. La intensidad luminosa máxima será de 5637 cd.

#### 4.4.2.3.3 Modelos de lámpara:

La mayoría de las veces la elección de lámpara viene determinada por la luminaria. Es decir, normalmente se compra el conjunto luminaria-lámpara. En el caso que nos ocupa, por sus características compactas y por un haz de luz potente la lámpara más utilizada para iluminación exterior son las lámparas de halogenuros metálicos. En la Figura 4.33. se pueden ver las características principales de estas lámparas. También se usan otro tipo de lámparas como por ejemplo LED [1].

HALOGENUROS METÁLICOS		
Potencias nominales	20-2.000 W	
Eficacia	70-90 lm/W	
Flujo luminoso	3.300-32.000 lm	
Temperatura de color	2.800-5.000 K	
IRC	60-90	
Tono	Blanco	
Espectro de emisión	Discontinuo	
Tiempo de encendido	300	
Tiempo de reencendido	600	
Tamaño	Grande	
Posición de funcionamiento	Universal	

[Fig. 4.33.](#) Características de los halogenuros metálicos

Hay que tener en cuenta que según el flujo luminoso que emite una lámpara se recomiendan alturas diferentes. La Figura 4.34. muestra una tabla con los valores orientativos.

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 < L < 10000$	$6 < H < 8$
$10000 < L < 20000$	$8 < H < 10$
$20000 < L < 40000$	$10 < H < 12$
$L > 40000$	$12 > H$

[Fig. 4.34.](#) Altura orientativa

En los modelos de luminaria escogidos anteriormente ya llevan el tipo de lámpara incluida. El flujo luminoso de éstas y la altura recomendada son las siguientes:

**1. INDY 1 - 70W SE GW86903 de la marca GEWISS:**

- L: 6300 lm. Por lo tanto, la altura recomendada se encuentra entre 6 y 8 m.

**2. BVP506 GC T35 WG 1xGRN127-2S/740 DN de la marca PHILIPS:**

- L: 12688 lm. Por lo tanto, su altura recomendada está entre 8 y 10 metros.

**3. NRM030/250W de la marca NVC lighting:**

- L: 20500 lm. Por lo tanto, su altura recomendada está entre 10 y 12 metros.

#### 4.4.2.3.4 Análisis de distribución:

##### 4.4.2.3.4.1 Tipos de distribución:

La distribución de las luminarias depende de los tramos de vía que se quiere iluminar. Depende del trazado de la vía, si es recto o curvo; del número de calzadas, ya que entonces se pueden colocar las luminarias entre las dos calzadas y de la relación entre el ancho de la calzada y la altura del montaje de las luminarias.

En nuestro caso de estudio encontramos tramos rectos y tramos curvos de vía con una única calzada. Respecto a los primeros existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas. Según la relación entre el ancho de la calzada y la altura del montaje de las luminarias se recomienda usar una disposición u otra, mostradas en la Figura 4.35.

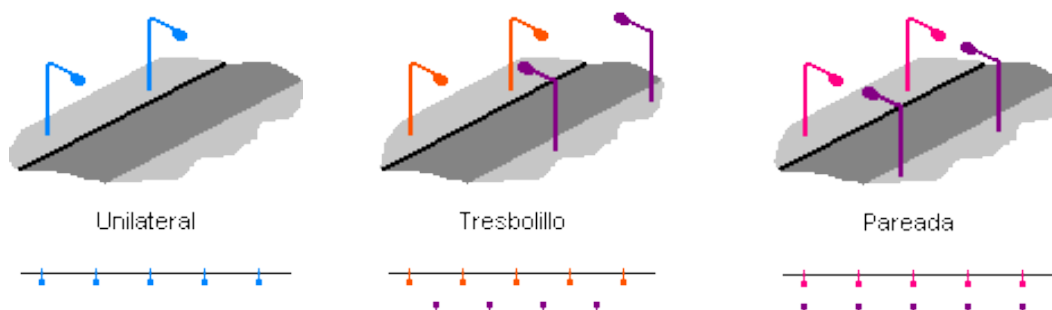


Fig. 4.35. Distribuciones de las luminarias

La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1,5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1,5. Tal y como podemos ver en la Figura 4.36.

	Relación entre la anchura de la vía y la altura de las luminarias
<b>Unilateral</b>	$A/H < 1$
<b>Tresbolillo</b>	$1 < A/H < 1,5$
<b>Pareada</b>	$A/H > 1,5$

[Fig. 4.36](#) Relación entre la anchura de la vía y la altura de las luminarias

Por lo que respecta a los tramos curvos, la disposición de las luminarias se decidirá en función del radio de la curva y de la relación entre el ancho de la vía y la altura del montaje de las luminarias. Por cuestiones de seguridad se recomienda colocar las luminarias en el exterior de la curva. Para orientar al usuario de la vía del trazado de la curva se recomienda poner un número mayor de luminarias cuanto menor sea el radio de la curva, de esta manera el usuario puede hacerse ver mejor el trazado de ésta. En el caso de curvaturas grandes, a partir de valores de  $R > 300$  se considera el tramo como un tramo recto y, por lo tanto, se iluminará como tal.

#### 4.4.2.3.4.2 *Método de cálculo de la distancia:*

Después de elegir los modelos de luminaria acorde con la superficie que queremos iluminar hay que comprobar si la instalación de éstas garantiza los niveles de iluminación deseados. Una de las maneras es colocar las luminarias en el circuito de velocidad mediante el programa DIALux separadas por una distancia a nuestra elección y ver si los niveles de iluminación son los deseados. Si no lo fueran tendríamos que cambiar o bien el modelo de luminaria, el número de ellas o la distancia entre ellas. Consistiría en un ensayo de prueba-error hasta encontrar una disposición de luminarias que cumpliera los requisitos. Esta manera de proceder resulta útil si la superficie a iluminar es muy pequeña ya que no hay tantas variables a tener en cuenta y, por ejemplo, una sobreiluminación no tendría excesivos costes de más.

Antes de proceder a lo previamente comentado existe un método analítico por el cual, según el modelo de luminaria y el nivel de iluminancia media que se desea, se pueden encontrar el número de luminarias necesario y la separación entre ellas para obtener un nivel de iluminación en una superficie determinada. De esta manera se parte de una disposición de luminarias base para introducir en el DIALux. Una vez introducida vemos si se garantizan los niveles de iluminación requeridos en toda la superficie. Si no es así se realizan los cambios necesarios hasta encontrar la disposición idónea. Para llevar a cabo este método primero deberemos fijar unos datos de entrada:

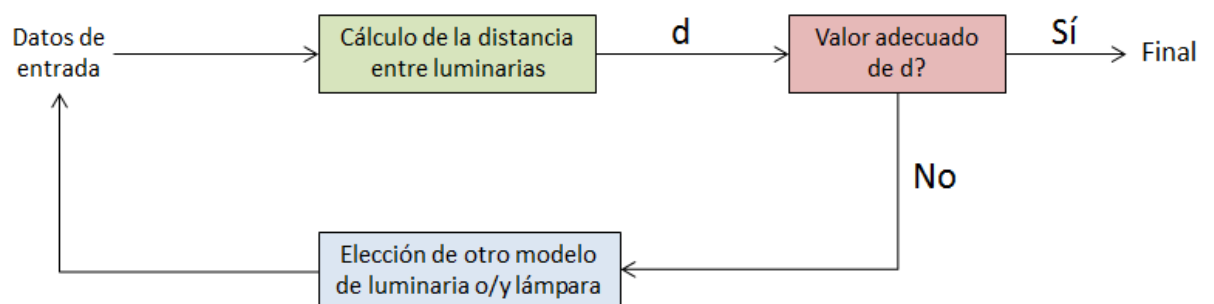
- La iluminancia media deseada: En este caso tal como hemos determinado antes tenemos el valor deseado de la luminancia que es  $2 \text{ cd/m}^2$ . Para encontrar el valor de la Iluminancia, se puede multiplicar el valor de la luminancia por el coeficiente R del pavimento utilizado. En este caso el valor de R es 15. Por lo tanto, el valor de  $E_m$  medio es 30 Lux.
- La disposición de las luminarias: En nuestro caso probaremos disponerlas de forma unilateral, pareada y en tresbolillo, cumpliendo la relación entre la altura de las luminarias y la anchura de la calzada, para ver cuál es más adecuada. la disposición establecerá cual es el ancho a iluminar. El ancho de la calzada es de media 11,5 metros.
- Unilateral: el ancho será A

- Tresbolillo: el ancho será A
- Pareada: el ancho será A/2
- Factor de mantenimiento ( $f_m$ ): En nuestro caso utilizaremos el valor de 0,8 que es el que más se adecua al tipo de vía y luminarias que usaremos.
- El factor de utilización (CU): Este valor dependerá de la luminaria escogida.
- El flujo luminoso de la lámpara ( $\Phi_L$ ): Tal como hemos dicho anteriormente la lámpara puede venir determinada por la luminaria. Si no fuese así se escogería una lámpara acorde con la altura del montaje.

Una vez tenemos todos estos datos usando la Ecuación 4.5. calcularemos la distancia entre luminarias.

$$d = \frac{\Phi_L * k * f_m}{E_m * a} \quad (\text{Ec. 4.5.})$$

La manera de proceder es la siguiente: se escoge un modelo de luminaria y lámpara. De esta manera se establece el valor del flujo luminoso ( $\Phi_L$ ), del factor de mantenimiento ( $f_m$ ) y del factor de utilización. A continuación, escogemos qué tipo de disposición según la altura del montaje. Una vez tenemos estos datos calculamos la distancia entre las luminarias. Si este valor es ilógico o no es óptimo tendremos que cambiar el modelo de luminaria o de lámpara. Este proceso se puede resumir en un diagrama de bloques como el representado en la Figura 4.37.



**Fig. 4.37.** Diagrama de bloques del proceso de cálculo de la distancia entre luminarias

#### 4.4.2.3.4.3 Cálculo de la distancia e implementación:

A continuación, elegiremos la disposición y calcularemos la distancia que tiene que haber entre las luminarias para cada modelo. Después dispondremos de estas luminarias en el DIALux para ver cuál es el nivel de iluminación que se obtiene. Por una cuestión de rapidez iluminaremos una recta del circuito y, más adelante, extrapolaremos el resultado al circuito completo. En el caso de las curvas como la iluminación de éstas depende de su curvatura cada caso será diferente. De todas maneras, se usará la misma luminaria que en las rectas. A continuación, compararemos la iluminación que se obtiene con cada modelo de luminaria y escogeremos la más adecuada, teniendo en cuenta también factores como al precio de las luminarias y la potencia consumida. La distancia se calculará con la fórmula previamente explicada (Ec. 4.5.).

Modelos:

#### 1. INDY 1 - 70W SE GW86903 de la marca GEWISS:

- $\Phi_L = 6300 \text{ lm}$
- $6 < H < 8 \rightarrow$  Establecemos una altura de 7 m
- $f_m = 0,8$
- $CU = 0,73$

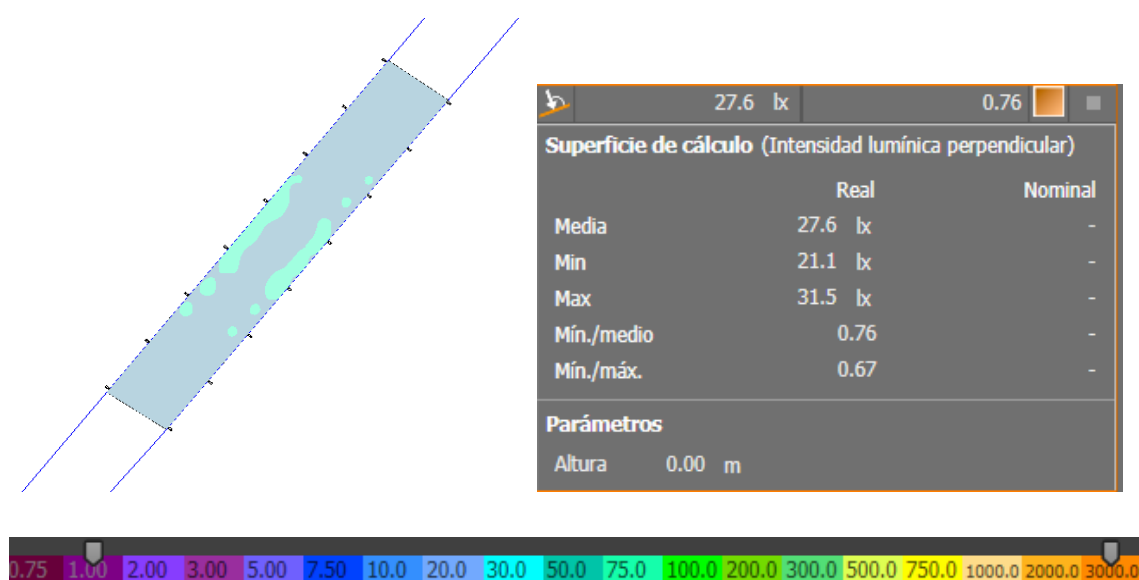
La relación A/H es igual a 1,67. Por lo tanto, la disposición adecuada es pareada. Esto implica que el ancho usado en la fórmula sea A/2.

- $d = 21,3 \text{ m}$

Después de colocar las luminarias en el DIALux los resultados que se extraen se pueden ver en la Figura 4.38. La imagen de la izquierda consiste en las isolíneas de la iluminancia en una parte de una recta con las luminarias colocadas. Estas isolíneas siguen la escala que veis también en la Figura 4.38. De esta manera se puede saber qué parte está más o menos iluminada. En la imagen de la derecha veis los cálculos realizados por DIALux. Finalmente, la distancia entre luminarias y la altura más óptima han sido de 10 m y 11 m



respectivamente. El valor de la distancia es muy inferior al encontrado teóricamente, seguramente se debe a la disposición pareada. Respecto a la altura ésta es un poco más elevada. Respecto a los valores calculados por el DIALux se puede ver en la Figura 4.38.



[Fig. 4.38.](#) Solución del primer modelo utilizando DIALux

Estos son los valores extraídos del DIALux:

- $E_{\text{medio}} = 27,6 \text{ lx}$
- $E_{\text{min}} = 21,1 \text{ lx}$
- $E_{\text{max}} = 31,5 \text{ lx}$
- $U_0 = 0,76$
- $U_L = 0,67$

La  $E_{\text{medio}}$  es un poco inferior a la deseada y en el caso de  $U_L$  no es 0,7 por muy poco.

## 2. BVP506 GC T35 WG 1xGRN127-2S/740 DN de la marca PHILIPS:

- $\Phi_L = 12688 \text{ lm}$
- $8 < H < 10 \rightarrow$  Establecemos una altura de 8 m
- $f_m = 0,8$
- $CU = 0,74$

La relación A/H es igual a 1,43. Por lo tanto, la disposición adecuada es de tresbolillo. Esto implica que el ancho usado en la fórmula sea A.

- $d = 21,77 \text{ m}$

Finalmente, la distancia entre luminarias y la altura más óptima han sido de 26 m y 12 m respectivamente. Estos valores son un poco más elevados que los teóricos. Respecto a los valores calculados por el DIALux estos están representados en la Figura 4.39.

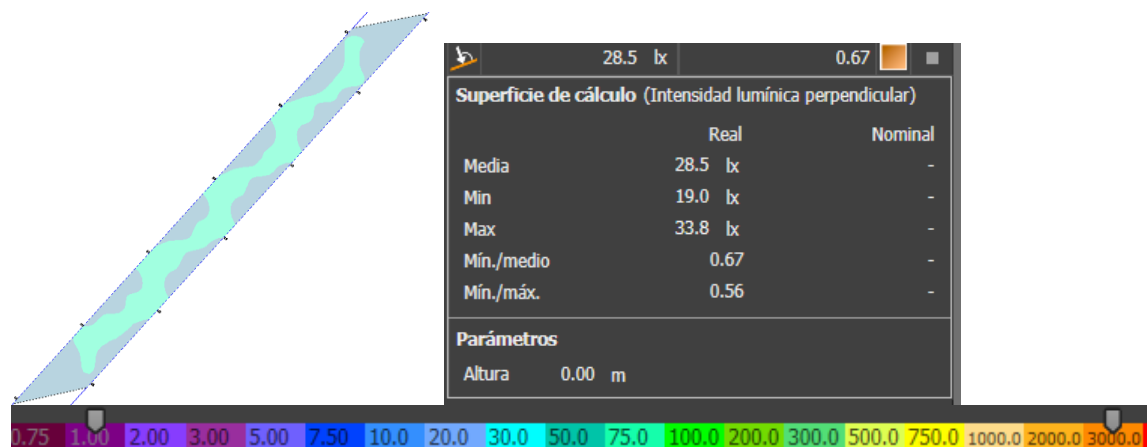


Fig. 4.39. Solución del segundo modelo utilizando DIALux

Estos son los valores extraídos por el DIALux

- $E_{\text{medio}} = 28,5 \text{ lx}$
- $E_{\text{min}} = 19 \text{ lx}$
- $E_{\text{max}} = 33,8 \text{ lx}$
- $U_0 = 0,67$
- $U_L = 0,56$

El único valor que está por debajo de lo esperado es  $U_L$ . Aunque no dista muy lejos del valor ideal que es 0,7.

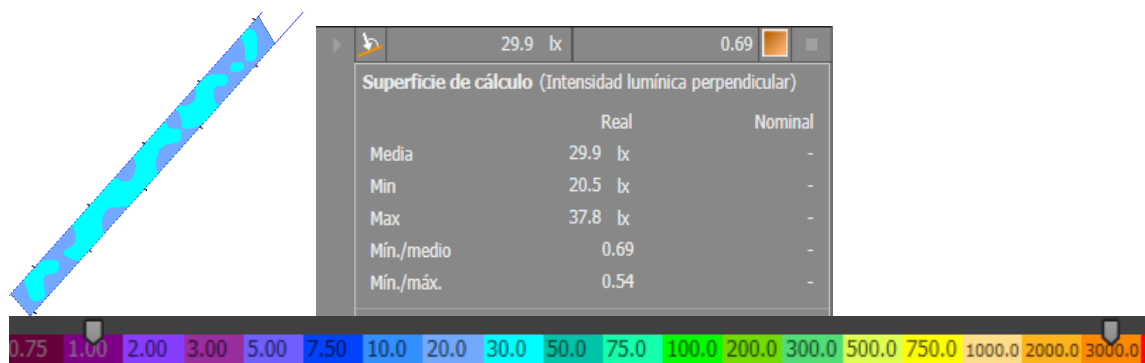
### 3. NRM030/250W de la marca NVC lighting:

- $\Phi_L$ : 20500 lm
- $10 < H < 12 \rightarrow$  Establecemos una altura de 10m
- $f_m = 0,8$
- $CU = 0,77$

La relación  $A/H$  es igual a 1,15. Por lo tanto, la disposición será de tresbolillo. El ancho usado será  $A$ .

- $d = 36,6 \text{ m}$

Finalmente, la distancia entre luminarias y la altura más óptima han sido de 33 m y 14 m respectivamente. Estos valores son muy cercanos a los teóricos. Respecto a los valores calculados por el DIALux representados en la Figura 4.40.



[Fig. 4.40.](#) Solución del tercer modelo utilizando DIALux

Estos son los valores calculado por el DIALux:

- $E_{\text{medio}} = 29,9 \text{ lx}$
- $E_{\text{min}} = 20,5 \text{ lx}$
- $E_{\text{max}} = 37,8 \text{ lx}$
- $U_0 = 0,69$
- $U_L = 0,54$

El único valor que está por debajo de lo esperado es  $U_L$ . Aunque no dista muy lejos del valor ideal que es 0,7.

#### 4.4.2.3.5 Elección de la iluminación:

A la hora de escoger el modelo de luminaria, dado que los tres iluminan de forma similar, nos fijaremos en el precio del modelo y calcularemos cuánto cuesta instalar las luminarias en todo el circuito. Este cálculo será aproximado y solo nos servirá para escoger la luminaria. Más adelante, en el presupuesto se detallará el precio exacto.

INDY 1 - 70W SE GW86903 de la marca GEWISS: El precio de este modelo es de 267 euros. La distancia entre luminarias es de 10 m y su disposición es pareada. Teniendo en cuenta que la longitud total del circuito es de 4113 m, el precio aproximado de la instalación de esta luminaria será de 219.634 euros.

BVP506 GC T35 WG 1xGRN127-2S/740 DN de la marca PHILIPS: El precio de este modelo es de 1441 euros. La distancia entre luminarias es de 26 m y su disposición es de tresbolillo. Teniendo en cuenta que la longitud total del circuito es de 4113 m, el precio aproximado de la instalación de esta luminaria será de 455.910 euros.

NRM030/250W de la marca NVC lighting: El precio de este modelo es de 785 euros. La distancia entre luminarias es de 33 m y su disposición es de tresbolillo. Teniendo en cuenta que la longitud total del circuito es de 4113 m, el precio aproximado de la instalación de esta luminaria será de 195.679 euros

Por lo tanto, una vez calculados el precio de la instalación de cada luminaria, instalaremos el modelo **NRM030/250W de la marca NVC lighting**.

#### 4.4.2.3.6 Iluminación final

Una vez dispuestas todas las luminarias. En la Figura 4.41. se muestra la gradación de la iluminación en todo el circuito.

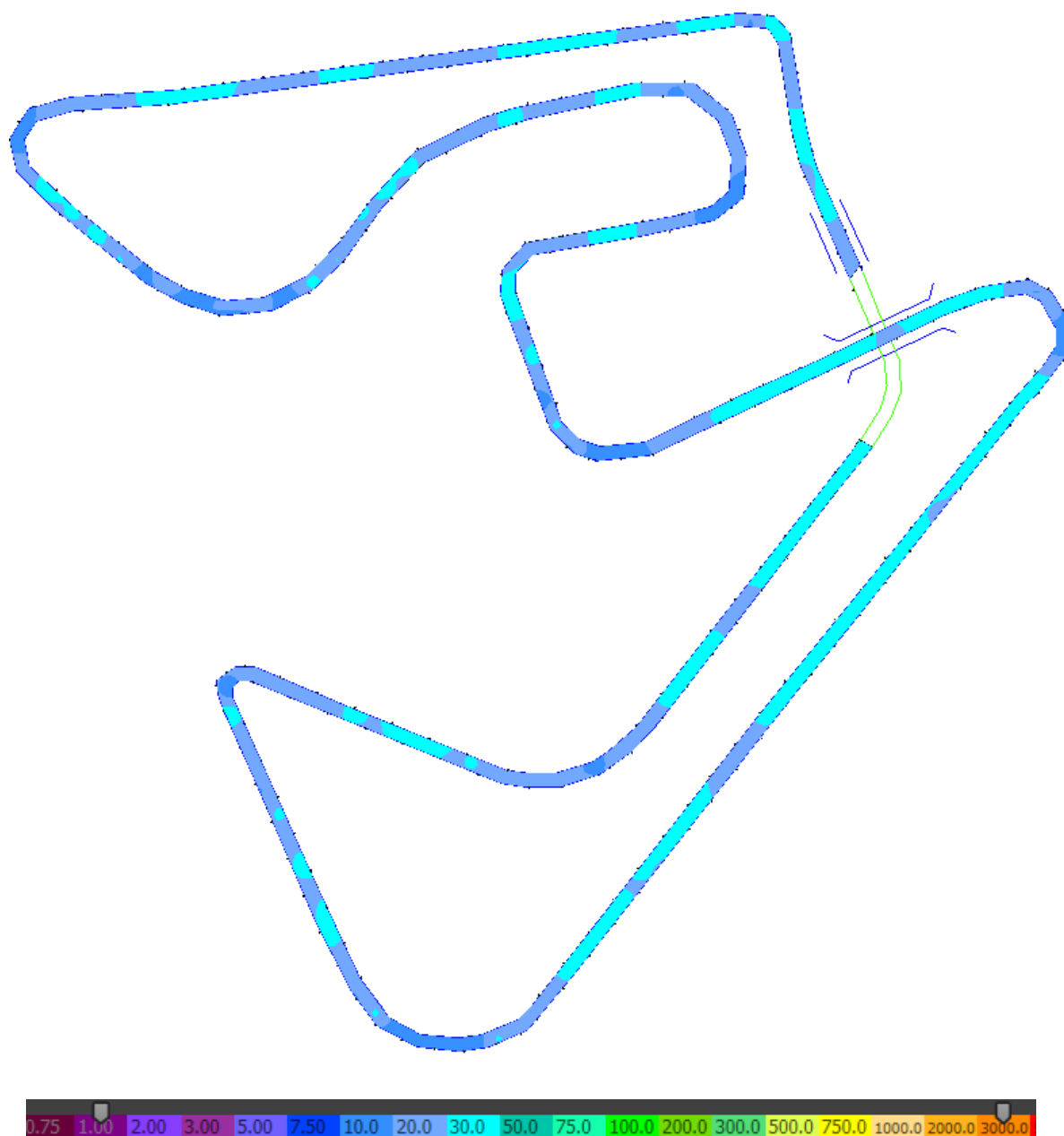
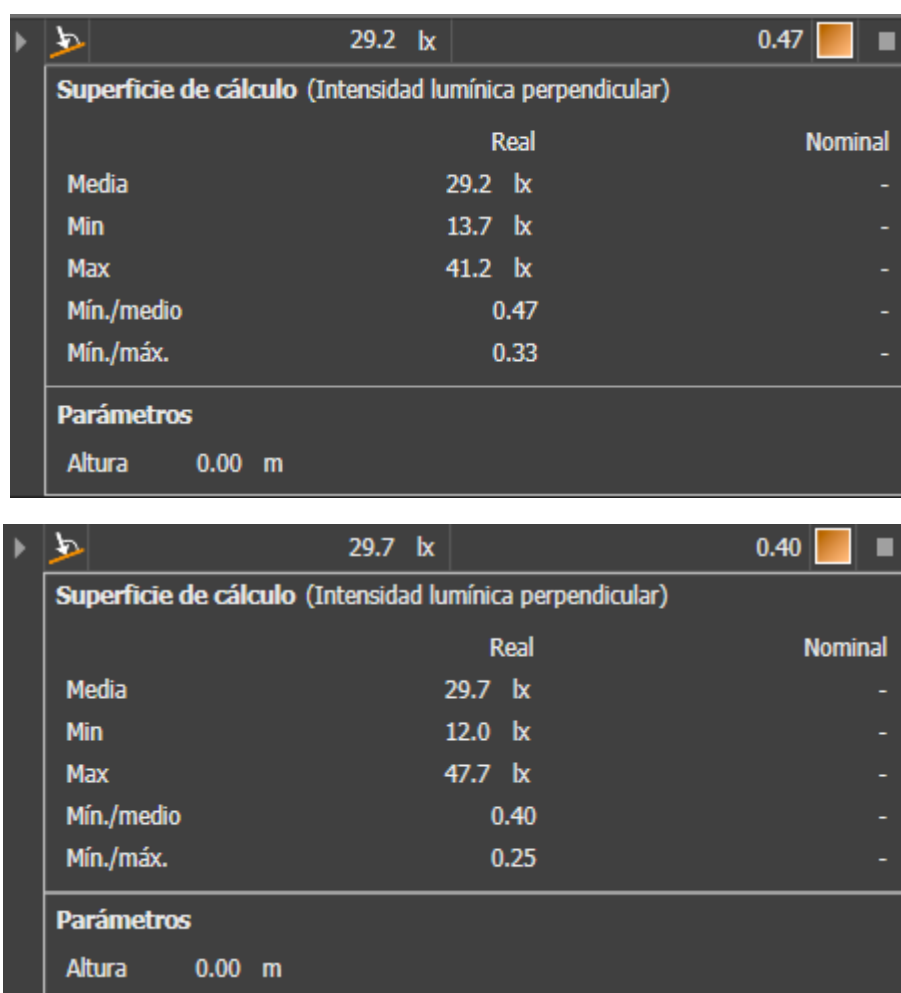


Fig. 4.41. Disposición y gradación de la iluminación final del circuito

Para calcular los valores de la iluminación se ha dividido el circuito de velocidad en dos partes, ya que para el DIALux la superficie entera del circuito era demasiado grande. Los valores encontrados están representados en la Figura 4.42.

Podemos ver que estos valores son muy cercanos a los que buscábamos. En este caso se ve como la  $U_L$  ha disminuido respecto a los cálculos previos que habíamos realizado. Esto es debido a que en las curvas los valores de iluminación mínimos son más pequeños. Tal como hemos comentado previamente en las curvas se recomienda colocar luminarias solo en el lado exterior para poder seguir el trazado de la curva. Es por eso que el nivel de iluminación en el interior es más bajo.

En concreto se han instalado 256 luminarias **NRM030/250W de la marca NVC lighting**.



[Fig. 4.42.](#) Características de la solución final

### 4.4.3. Instalación de las cámaras

#### 4.4.3.1. Tipos de cámara:

Dentro de las cámaras ópticas de grabación de imágenes los tipos más básicos son los siguientes:

Cámara de cine: se trata de una de cámara fotográfica que toma un gran número de fotografías por segundo dando lugar a una secuencia de fotografías en una cinta de película fotográfica que posteriormente será revelada. Esta secuencia de fotografías al ser proyectada reproduce el movimiento original.

- Cámara de vídeo analógica: es un dispositivo que captura imágenes convirtiéndolas en señales eléctricas que varían en el tiempo con diferente amplitud, en la mayoría de los casos la salida es una señal analógica de video. Estas cámaras se pueden conectar a la televisión o monitores donde se puede ver en tiempo real las imágenes grabadas.
- Cámara de video digital: almacenan la información en paquetes digitales en un formato digital comprimido (DV,DVD, duro, memoria ...) Existen dos tipos básicos de cámaras de video: portátiles o de ENG y las de estudio.
- Cámara IP: cámara que emite las imágenes a través de Internet desde un explorador o a través de concentrador (un HUB o un SWITCH) en una Red Local (LAN). Una cámara de red incorpora su propio miniordenador por lo que puede procesar, comprimir y enviar ella mismas los videos. Estas cámaras cuentan con muchas más funciones.

De éstas tres cámaras de grabación de imagen nos resultan útiles para nuestra instalación las cámaras de vídeo y las cámaras IP. A continuación, hacemos una comparación de las dos para decidir cuál presenta más ventajas y, por lo tanto, resulta escogida.



#### **4.4.3.2. Comparativa de cámaras:**

Una de las ventajas de las cámaras IP [3] respecto a las cámaras de video es que en las primeras podemos ver las imágenes desde cualquier sitio con conexión a internet y desde cualquier dispositivo. De esta manera se puede tener más de un sitio de visionado sin incrementar el coste. En el caso de las cámaras de video es necesario instalar cables por cada monitor donde se quieren ver las imágenes, incrementando el coste de la instalación.

Por lo que respecta a la calidad de la imagen las cámaras IP su resolución es HD y se mide en megapíxeles teniendo en cuenta también la velocidad de cuadros por segundos (fps). Las cámaras IP más avanzadas usan una tecnología 4k, por lo que la imagen es muy detallada. En cambio, en las cámaras de vídeo la resolución se mide en líneas (TVL); la cantidad de líneas o líneas de TV nos dan la calidad de las imágenes que captura la Cámara. Pese a que se podría pensar que las cámaras IP dan una calidad de imagen mejor no es así. Las cámaras de vídeo analógicas trabajan mucho mejor en condiciones de iluminación bajas, lo que supone una ventaja importante sobre las otras teniendo en cuenta que nuestra intención es que se puedan realizar tanto pruebas como competiciones en condiciones de iluminación escasas. Las cámaras IP comprimen el video antes de ser monitoreados o grabado por lo que la retransmisión de vídeo en tiempo real pierde calidad y se da con un ligero retraso. Esto no pasa en el caso de las cámaras analógicas ya que el video se transmite directamente al DVR (digital video recorder) sin comprimir. En cuanto a la transmisión de vídeo las cámaras de vídeo analógicas son más seguras que las IP ya que éstas últimas si hay un fallo en la infraestructura de red pueden perder los datos grabados y alterar el sistema completo.

En cuanto al cableado, las cámaras IP presentan una gran desventaja respecto a las cámaras de vídeo analógicas. Según los estándares TIA/EIA-568-B existe una limitación para el cableado de red para soportar un sistema de vídeo de vigilancia de 100 metros. Esto supone un impedimento a la hora de instalarlo en el circuito ya que este tiene una longitud de 4144 metros. En cambio las cámaras analógicas al no usar un cableado de red no tienen esta limitación y se puede transmitir vídeo a más de 2 kilómetros de forma eficiente.

Por lo que respecta a la seguridad los datos transmitidos por las cámaras IP al estar encriptados son difíciles de interceptar, pero por otro lado la red puede infectarse con virus

u otro tipo de ataques. La señal de video de una cámara análoga es menos segura y cualquiera con contacto físico con el cableado puede interceptarla. Teniendo en cuenta que en nuestras instalaciones puede que se realizan pruebas con tecnologías punteras la seguridad es algo a tener muy en cuenta.

Otra cosa a tener en cuenta es la posibilidad que tienen las cámaras IP de funcionar por wifi, de manera que no se necesitaría la instalación de cables. Este tipo de cámaras supondrían un ahorro en la instalación del CCTV (circuito cerrado de televisión). El problema que presenta la instalación de estas cámaras es que la calidad de la imagen no es tan buena como las otras y también que debido a las distancias que hay entre las cámaras puede ser necesario usar enlaces inalámbricos.

En relación al precio las cámaras IP son más caras que las cámaras de vídeo y en el caso de instalaciones grandes los costes pueden verse aumentados al necesitar equipamientos de administrador de redes. Pero también hay que tener en cuenta el cableado necesario para la instalación y que, tal como hemos comentado anteriormente, existe la posibilidad de usar cámaras wifi y ahorrarse el cableado. En cuanto a los sistemas de grabación no hay una diferencia demasiado grande. Mientras que con las cámaras analógicas se ha de usar si o si un grabador de video digital conocido por sus siglas DVR, con las cámaras IP hay varias opciones: grabar en una tarjeta de memoria propia de cada cámara; grabar en un ordenador local o remoto, tableta o móvil; transferir archivos a un servidor FTP o usar un grabador de cámaras IP conocido como NVR. En un CCTV por norma general se usa éste último.

En cuanto a las funciones extra las cámaras IP poseen todas las que tienen las cámaras de vídeo y añaden algunas más. Algunas de las funciones que aporta una cámara IP son las siguientes:

- Activación por movimiento: Las cámaras se pueden encontrar en Stand-by y cuando sus sensores detectan algún movimiento delante de ellas reanudan la grabación.
- Envío de correos electrónicos con imágenes.
- Activación a través de otros sensores: temperatura, sonido...
- Control remoto para mover la cámara y apuntar a una zona.

- Programación de una secuencia de movimientos en la propia cámara.
- Posibilidad de usar infrarrojos para grabar por la noche
- Utilización de diferente cantidad de fotogramas según la importancia de la secuencia.
- Actualización de las funciones por software.

Como conclusión en general los sistemas de CCTV de cámaras de video analógicas son menos costosos; su calidad de imagen es similar al CCTV con cámaras IP, incluso superior en condiciones de escasa iluminación; necesitan equipamiento menos técnico y su instalación es menos compleja; El mantenimiento también resulta más sencillo.

Por otra parte, estos sistemas de CCTV presentan una gran desventaja en instalaciones de grandes dimensiones: El cableado. La alternativa que ofrecen las cámaras IP wifi en cuanto a la posibilidad de evitar la infraestructura de cableado representa una gran ventaja frente a las primeras. No sólo se ahorraría costes en la infraestructura, sino que se evitarían todos los problemas relacionados con la instalación del cableado como por ejemplo las posibles modificaciones del terreno para la adaptación de éste, la seguridad, el cumplimiento de la normativa referente al cableado, etc.

También se ha de tener en cuenta que es posible que la red wifi utilizada para las cámaras IP sea también útil para las pruebas de los coches autónomos, ya que como se ha explicado anteriormente lo que se quiere es que haya una transmisión de datos continua entre el ordenador central de estos con los puestos de control.

Por último, cabe hacer hincapié en las perspectivas de futuro de cada tecnología. Los sistemas de CCTV de cámaras de vídeo analógicas han sido usados por décadas por lo que cuentan con una tecnología más establecida y con menos cambios. Es por esto mismo que con el paso del tiempo es posible que esta tecnología se quede atrás. Por lo que respecta a los sistemas de CCTV con cámaras IP es una tecnología relativamente reciente y por ahora no representan un gran porcentaje en el mercado. Esta tecnología está en continuo desarrollo y las posibilidades que tendrá en un futuro superarán con creces a los CCTV de cámaras analógicas.

Las dos posibilidades cuentan con ventajas y desventajas. Para escoger el mejor sistema

de CCTV hemos de ver el que más se adapta a las condiciones de nuestro proyecto. En este caso, creemos que un circuito cerrado de televisión usando cámaras IP wifi y enlaces inalámbricos es el que mejor se adapta a las condiciones del circuito de velocidad del ParcMotor Castellolí. Remarcamos que el motivo principal de esta elección han sido las restricciones y limitaciones que tienen las cámaras analógicas en su cableado. No solo dispararía los precios, sino que también se debería de estudiar cómo cablear un circuito de 720.000 metros cuadrados aproximadamente.

#### **4.4.3.3. Selección del modelo:**

Para poder instalar las cámaras seleccionadas en el apartado anterior, necesitaremos cumplir dos requisitos básicos:

**Electricidad:** Estas cámaras vienen con un alimentador de corriente estándar para poder suministrarle la electricidad que necesitan. Por lo tanto, una posibilidad para alimentar a nuestras cámaras es enchufar éste alimentador a 220V y este generará la corriente de 5V o 12V que necesite la cámara en cuestión dependiendo del modelo. Existen otras formas de alimentar las cámaras.

Las otras formas de alimentación eléctrica que consideramos en nuestro estudio son: baterías o pilas, SAI (Sistemas de alimentación ininterrumpida), adaptadores de tensión estabilizada o fuentes de alimentación autónoma con placas solares.

En nuestro caso hemos elegido alimentar las cámaras de manera estándar ya que podemos usar la red eléctrica que se instalará para las luminarias.

**Internet:** Como hemos seleccionado este tipo de cámaras para no tener que cablear el circuito entero, será necesario disponer de una conexión a internet, ya que la red local no nos soluciona el problema. Tenemos dos opciones de conexión a internet: internet fijo, para sitios con cobertura ADSL o fibra óptica, o internet móvil, para lugares donde solo tenemos cobertura móvil.

Para la correcta selección de nuestras cámaras será necesario remarcar que deberán de ser para uso exterior. No necesitamos que dispongan de ningún sensor de movimiento, ya que queremos que éstas estén encendidas permanentemente. Ni queremos que se

muevan según detecten movimiento, porque puede ser un problema si se encuentran más de un vehículo en el mismo momento por un tramo en concreto.

Una vez hemos analizado el mercado y examinado varios modelos de distintas empresas, hemos reducido la selección a dos cámaras que se pueden ver en la Figura 4.43.

	Cámara IP Foscam FI9900P	Cámara IP Foscam FI9800P
<b>Tipo (Interior/Exterior)</b>	Exterior	Exterior
<b>Conexión</b>	Wifi y Cable	Wifi y Cable
<b>Consumo (màximo)</b>	6.5 W	6.5 W
<b>Resolución</b>	Full HD 1920x1080p	HD 1280x720p
<b>Zoom</b>	Magic zoom 2x y zoom digital 6x	No zoom
<b>Visión</b>	Visión 118 grados	Visión 75 grados
<b>Software</b>	Software Gratuito	Software Gratuito
<b>Precio</b>	139.90 €	94.90 €
<b>Estética</b>		

Fig. 4.43. Modelos de cámaras IP

Estos dos modelos que os acabamos de presentar están incluidos en el catálogo de Foscam Authorized Reseller.

Primeramente, hemos remarcado en verde los requisitos mínimos que habíamos determinado en los apartados anteriores, y como podemos ver ambos modelos los cumplen. Por otro lado, hemos querido remarcar el consumo máximo de 6.5 W que presentan ambas y por tanto este no será una característica diferenciadora pero sí muy importante en apartados posteriores. Otra característica que presentan igual los dos modelos seleccionados es el software de trabajo, no solo coincide que es gratuito, sino que es el mismo.

Por otro lado, las cuatro características restantes son las que nos harán seleccionar una u otra. La cámara IP Foscam FI9900P destaca por tener un ángulo de visión muy amplio (118 grados) a la vez que una resolución Full HD de 1920x1080p. Si comparamos estos dos parámetros con la cámara FI9800P podemos comprobar que la primera tiene mejores prestaciones para visualizar largas distancias, ya que además de mejor resolución y ángulo de visión presenta un zoom potente para poder analizar con detalle lo que pueda pasar en el circuito. No obstante, la cámara FI9900P presenta un precio más elevado.

Para concluir que cámara seleccionamos nos basaremos en instalar el mínimo número de éstas posibles. Así la instalación y mantenimiento será más sencilla. Por lo tanto, la cámara seleccionada ha sido la IP Foscam FI9900P. Sus características más detalladas se encuentran en la Figura 4.44.

	Cámara IP Foscam FI9900P
<b>Tipo (Interior/Exterior)</b>	Exterior
<b>Conexión</b>	Wifi y Cable
<b>Consumo (màximo)</b>	6.5 W
<b>Resolución</b>	Full HD 1920x1080p
<b>Zoom</b>	Magic zoom 2x y zoom digital 6x
<b>Visión</b>	Visión 118 grados
<b>Software</b>	Software Gratuito
<b>Precio</b>	139.90 €

Fig. 4.44. Características detalladas de la IP FOSCAM FI9900P

#### 4.4.3.4. CCTV:

##### 4.4.3.4.1 Introducción:

Una vez hemos seleccionado el modelo concreto de cámara que vamos a utilizar, estudiaremos cómo es y cómo debemos instalar el circuito cerrado de televisión de dicha cámara.

En la Figura 4.45. podéis ver el CCTV de una cámara analógica y una cámara IP a la vez. La gran diferencia, y por lo que nosotros hemos seleccionado las cámaras IP, es la posibilidad que tienen de ver las imágenes sin necesidad de cablear. Los elementos básicos que encontramos son:

Emisor: en nuestro caso, el emisor es la misma cámara IP. Ésta no sólo graba las imágenes, sino que también se encarga de enviarlas a un receptor inalámbrico. Para que esto sea posible necesitaremos una conexión inalámbrica de internet fija o móvil.

Receptor principal o receptor/emisor: en nuestro caso tendremos varios puntos de acceso que realizarán la doble función de receptor y emisor: se encarga de recibir las imágenes de la cámara IP y después enviarlas a los receptores finales para poder verlas o almacenarlas.

Receptor final: tenemos varias maneras de poder visualizar nuestras imágenes en tiempo real: mediante un monitor analógico conectado a un receptor de video o mediante un dispositivo de visualización (como podría ser un PC o terminal móvil) con el software necesario instalado. Por otro lado, también podemos almacenar las imágenes en un grabador de vídeo en red, que se comuniquen con el punto de acceso inalámbrico o directamente con la misma cámara IP, o directamente en el dispositivo PC o móvil.





[Fig. 4.45](#) CCTV de una cámara analógica y una cámara IP

#### 4.4.3.4.2 Componentes básicos:

Como hemos comentado en el apartado anterior nuestro CCTV no está formado solamente por las cámaras IP que hemos seleccionado, sino que tenemos diversos complementos necesarios para el buen funcionamiento. A continuación comentamos por separado y en profundidad cada uno de estos complementos:

##### 4.4.3.4.2.1 Software:

Las cámaras que hemos seleccionado no precisan instalar ningún software para funcionar. El software incorporado en la cámara IP nos permitirá realizar las funciones que necesitamos. Las cámaras IP funcionan como un pequeño ordenador que hace de servidor web y usan cualquier navegador de Internet para mostrar su software interno a cualquier ordenador del mundo; dicho software interno tiene todas las funciones elementales para

visualizar, mover, activar alarmas, grabar, etc.

Para tener funciones más avanzadas o personalizadas, disponemos de un software externo de cámaras IP compatible que podemos descargar desde la página del proveedor.

#### 4.4.3.4.2.2 Grabador:

No es necesario comprar un grabador, ya que podemos usar un ordenador para almacenarlas. Sin embargo, como no deseamos tener encendido el ordenador para grabar, utilizaremos un grabador de cámaras IP (NVR) para grabar de forma continua y silenciosa todas las imágenes, permitiendo revisarlas por fechas y horas cuando lo desee.

Por otro lado, al tener múltiples cámaras de alta resolución necesitaremos un grabador potente para poder almacenarlas. Este grabador también debe de ser compatible con las cámaras seleccionadas.

En nuestro caso hemos seleccionado el grabador NVR FN3109H. Este es compatible con nuestras cámaras IP ya que ambos se comunican mediante el estándar ONVIF. El grabador NVR Foscam FN3109H admite discos duros internos SATA y externos USB de hasta 4 Tb, lo cual permitiría almacenar aproximadamente la grabación de 9 cámaras durante 1 mes seguido a 720P HD de resolución con 30 fps (imágenes por segundo).

La conexión es sencilla, se conecta por el cable de red suministrado al punto de acceso inalámbrico. Con el programa de detección incluido, puede abrir el software interno o bien conectarlo directamente a un monitor o TV y configurarlo mediante ratón USB incluido. Por otro lado, el manejo también es sencillo, puede visualizar en directo las cámaras, moverlas (si tienen movimiento), hacer zoom o revisar las grabaciones mediante un sistema visual de gestión de días y fechas. El control de acceso es mediante usuario y contraseña.

Las características más importantes del Grabador NVR FN3109H son:

- Hasta 9 cámaras IP
- Estándar ONVIF
- Estándar H.264

- HDMI/VGA
- Acceso local y remoto a imágenes en directo y grabaciones.
- Grabación continua
- Almacenamiento: disco o memoria flash USB externo y/o disco duro interno SATA (no incluido)
- Precio: 149,90 €

#### 4.4.3.4.2.3 *Punto de acceso inalámbrico:*

A la hora de escoger un punto de acceso inalámbrico para la conexión con las cámaras tenemos que tener en cuenta dos factores fundamentales: el alcance de la conexión wifi y el ancho de banda necesarios.

Todo lo relacionado con la instalación de la red inalámbrica necesaria (punto de acceso inalámbrico, repetidores de señales, enlaces inalámbricos...) se discutirá posteriormente en el apartado “Implantación de una red inalámbrica para el circuito de velocidad de Castellolí”.

#### 4.4.3.4.2.4 *Visualización:*

Podremos ver y manejar múltiples cámaras simultáneamente en una misma pantalla, tanto de ordenador como de móvil o tableta. Dichas cámaras podrán estar en la misma red local o bien en distintos puntos del mundo, por lo que tendrá centralizada la visión y manejo de múltiples ubicaciones.

En nuestro caso conectaremos el ordenador al punto de acceso inalámbrico para poder visualizar las imágenes. Tenemos la opción de ver las imágenes en diversos monitores conectados al ordenador o la opción más completa sería instalar un software al ordenador, que permite visualizar hasta 64 cámaras simultáneamente además de otras muchas funciones de control.

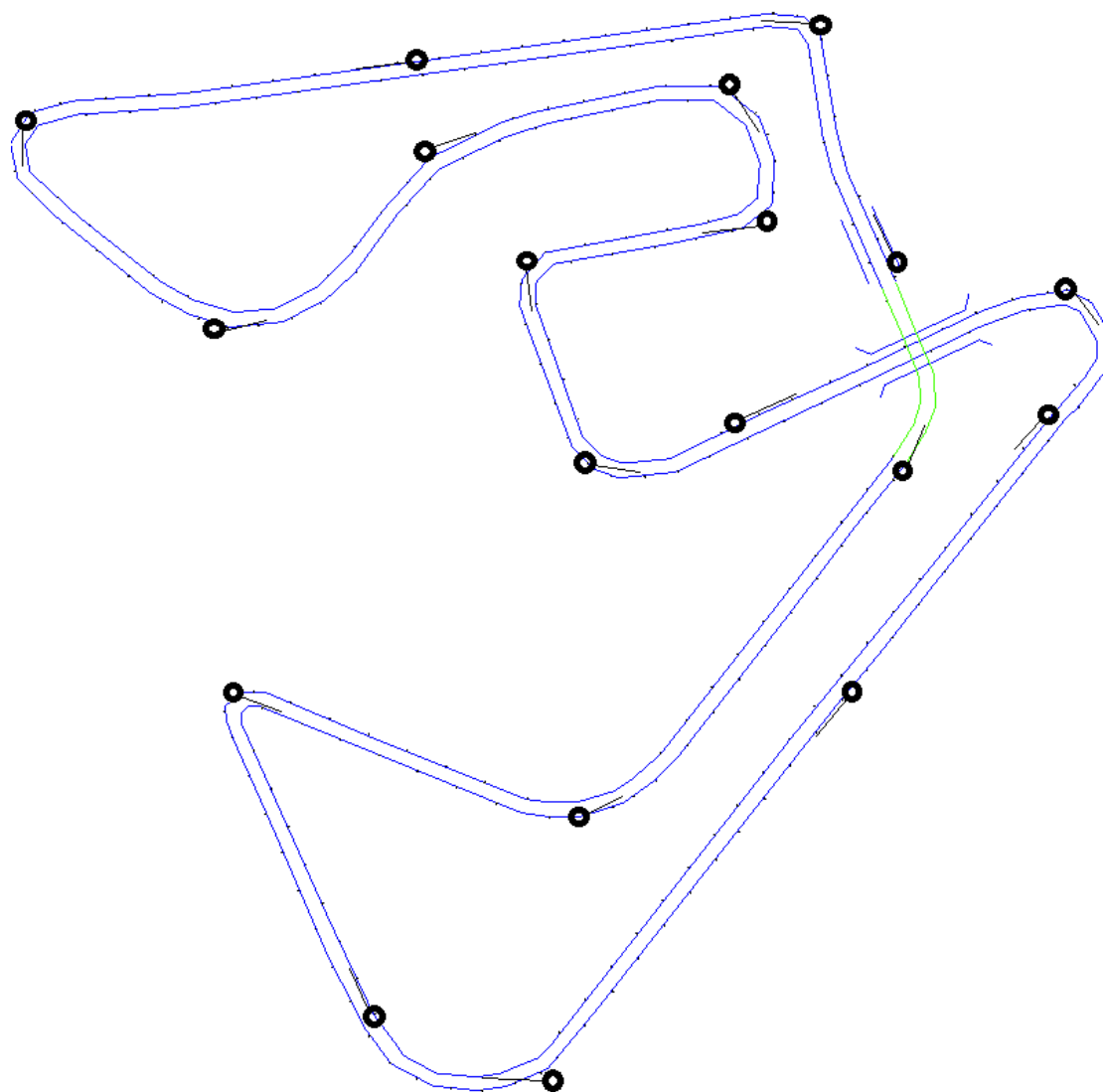
#### **4.4.3.5. Distribución de las cámaras:**

Como hemos comentado en apartados anteriores las cámaras se emplazarán en los mismos postes que las luminarias. El motivo principal es que éstas son imprescindibles en nuestro proyecto y a la vez necesitan de una instalación de red eléctrica complementaria para poder funcionar. Una vez hemos situado las luminarias a lo largo del circuito (consultar apartado 4.4.2.3.6.), se pasará a distribuir las cámaras en función de éstas.

Para emplazar las cámaras hemos establecido diferentes criterios:

- Se situarán sobre los postes preinstalados de las iluminarias.
- Las curvas se grabarán desde el exterior para poder tener mejor visión.
- Se optimizará el número de cámaras en las rectas para abaratar el proyecto emplazando las mínimas posibles.
- Prestaciones de la cámara seleccionada.

A continuación, se puede observar la Figura 4.46. que muestra la distribución final.



[Fig. 4.46.](#) Distribución final de cámaras

\*Las cámaras están representadas con un círculo negro y una recta negra que simboliza el eje del ángulo de enfoque de la cámara. En total emplazaremos 19 cámaras.

#### 4.4.4. Instalación de red de transmisión de datos:

En este apartado se diseñará la red de transmisión de datos tanto para las cámaras como para los coches autónomos.

##### 4.4.4.1. Tipo de redes:

Una red inalámbrica de datos es un conjunto de dispositivo conectados entre sí mediante soluciones que no requieran el uso de cables. La utilización de una red inalámbrica es idéntica a una red cableada. Hay varios tipos de redes inalámbricas que se diferencian básicamente por el alcance de éstas. Los tipos de redes más importantes son:

**Red Wpan (Personal Area Network):** Es una red inalámbrica pensada para la conexión de dispositivos cercanos al punto de acceso. Cubre unas distancias cercanas a 10 m. Se usa para conectar impresoras, teléfonos...

**Red Wlan (Wireless Local Area Network):** Son redes inalámbricas que cubren una distancia de unos cientos de metros. Este tipo de red inalámbrica se utiliza para crear un entorno de red local entre distintos dispositivos situados en una misma zona. La tecnología wifi entra dentro de este tipo de red.

**Red Wman (Wireless Metropolitan Area Network):** Estas redes son utilizadas para cubrir un área de una ciudad. Permite el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a internet, comunicaciones de datos en redes privadas, y video bajo demanda.

**Red móvil:** Estas redes cubren grandes áreas para que haya cobertura prácticamente total. En este tipo de redes aparecen las aplicaciones de telefonía móvil por generación conocidas como 1G, 2G, 2,5G y 3G.

Para el circuito de velocidad de Castellolí creemos que la red más adecuada es Wlan con tecnología Wi-Fi. Aunque con este tipo de red como máximos se pueden alcanzar unos 300 metros, se pueden usar diferentes dispositivos como por ejemplo enlaces inalámbricos para que haya cobertura en todo el circuito. También se podría pensar en usar una red Wman pero, para las necesidades de nuestro proyecto no es necesario crear una red con tan gran cobertura teniendo en cuenta los costes que representa.

#### 4.4.4.2. Red Wlan/Wi-Fi:

Wi-Fi es una marca de la Alianza Wi-Fi, la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen con los estándares IEEE 802.11 relacionados con redes inalámbricas de área local. Los estándares que certifica Wi-Fi son muy variados. Los más utilizados son: IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n y IEEE 802.11ac con una velocidad de transmisión máxima teórica de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s, 54 Mbit/s, 600 Mbit/s y 1000 Mbit/s , respectivamente. Cada uno de estos estándares trabaja o en la frecuencia de 2,4 GHz o en la de 5GHz. También se diferencia por las técnicas de modulación.

En el caso de las cámaras, éstas solo son compatibles con los estándares 802.11b, 802.11g y 802.11n.

Para los coches autónomos se usa el protocolo 802.11p. Este protocolo se creó expresamente para la comunicación vehículo a vehículo (v2v) y vehículo a infraestructura (V2I). Este estándar trabaja en las frecuencias de 5.850 - 5.925 GHz.

Pese que el estándar IEEE 802.11p es compatible con el estándar IEEE 802.11 a/n en temas de frecuencia (los dos trabajan en la banda de los 5 GHz), no resultan compatibles por el ancho de canal. Esto implica que, aunque puedan usar los mismos equipos estos tendrán que estar configurados para funcionar con anchos de canal diferentes.

Debido a esta incompatibilidad deberá haber dos redes Wi-Fi diferentes: una para las cámaras y otra para los coches autónomos, cada una con elementos diferentes.

Existen tres configuraciones de redes inalámbricas Wi-Fi: IBS, BSS, ESS.

Para ambas redes Wi-Fi usaremos el tipo de red BSS, que es el más usado. En esta configuración se necesita que los dispositivos tengan tarjetas Wi-Fi y se necesita disponer de un equipo conocido como punto de acceso. El punto de acceso lleva a cabo una coordinación centralizada de la comunicación entre los dispositivos.

#### 4.4.4.3. Elementos de la red Wifi para las cámaras

##### 4.4.4.3.1 Punto de acceso:

A la hora de escoger el punto de acceso tal como dijimos en el apartado de las cámaras tenemos que tener en cuenta el alcance del Wi-Fi y el ancho de banda necesario para la transmisión de datos de las cámaras.

##### 4.4.4.3.1.1 Alcance de la señal:

En cuanto al alcance de la conexión Wi-Fi este tiene que ser de valores alrededor de los 1500 m ya que hay zonas del circuito que se encuentran a esta distancia del centro de control. Ésta distancia es muy elevada por lo que se necesitará de una señal potente y probablemente de repetidores de señales o enlaces inalámbricos. El alcance depende de muchas características siendo las más importantes: la posición de la antena (visión directa o no); la morfología de la superficie en la que se quiere que haya cobertura; el tipo de conexión wifi, la potencia de transmisión y la antena del punto de acceso.

Respecto a la posición de la antena que envía la señal conviene que ésta esté situado en una posición elevada para que haya visión directa con todos los elementos. También sería adecuado que estuviera colocado en una posición central. En nuestro caso colocaremos el punto de acceso en los boxes, así que habrá zonas del circuito donde el wifi llegue con menos intensidad.

En cuanto a la morfología de la superficie es mejor que el espacio sea abierto como en el caso del circuito de velocidad, ya que así no habrá interferencias.

Respecto al tipo de conexión wifi, tal como hemos dicho anteriormente nuestra cámara IP solo soporta conexiones del tipo b, g y n, por lo tanto, tenemos que escoger entre estas tres.

- B: con un alcance máximo de unos 25 m.
- G: con un alcance máximo de unos 25 m.



- N: con un alcance máximo de unos 75 m.

Dado que nuestro espacio es de grandes dimensiones elegiremos la conexión de **tipo n**.

Respecto a la potencia de transmisión cuanto más alta sea cubriremos una distancia más grande.

En cuanto a la antena primero hay que diferenciar entre dos tipos según la forma en la que irradian: Omnidireccionales y direccionales. Las primeras irradian idealmente igual en todas las direcciones como si se tratara de una esfera. En cambio, las segundas irradian concentrando la señal en una dirección específica. Teniendo en cuenta que es necesario irradiar en varias direcciones para llegar a todas las cámaras nos conviene usar una antena omnidireccional. El inconveniente que tenemos es que la zona de control se encuentra en una esquina del circuito por lo que mucha señal será desperdiciada.

La tendencia de una antena a concentrar la señal en una dirección específica se conoce como ganancia y se mide en decibelios (dB). Cuanto más decibelio más concentrado está la señal en una dirección y más lejos llega esta señal. En el caso de las omnidireccionales la irradiación va convirtiéndose en un disco conforme se aumenta la ganancia. Aproximadamente si la ganancia aumenta en 3 dB, la potencia de transmisión se duplica. Por lo tanto, a la hora de escoger en una antena hay que seleccionar una con la máxima ganancia posible (sin que la señal se convierta en un disco) que irradie toda la zona en la que queremos tener wifi.

#### 4.4.4.3.1.2 *Ancho de banda:*

El ancho de banda se define como la cantidad máxima de información que puede fluir a través de una conexión de red en un período dado. Por lo tanto, nos interesa un ancho de banda cuanto más grande mejor.

Para saber qué ancho de banda necesitamos primero hay que saber cuál es la máxima transmisión de datos por segundo que necesitan las cámaras IP. El ancho de banda ocupado por cada cámara es un ancho variable que depende de algunos factores inherentes a la cámara y al espacio y de otros que podemos ajustar nosotros mismos.

Entre los primeros se encuentra el modo de vídeo de nuestra cámara, que es H.264. Este

modo de vídeo, en comparación al MJPEG, es un modo que permite una alta compresión de la imagen con una pérdida mínima de calidad. Por lo tanto, el tráfico de datos que se genera es de menor volumen y se ocupa menos ancho de banda.

También dependerá de la velocidad imágenes/segundo (FPS) que hayamos configurado. Cuanto mayor sea el FPS más ancho de banda se ocupará. Lo mismo ocurre con la resolución que se configure. Aproximadamente para una cámara se necesitaría el siguiente ancho de banda:

A resolución 640x480 (0,3 Mpx): 185 Mb/hora --> 0,41 Mbps

A resolución 1280x720 (1,3 Mpx): 1000 Mb/hora --> 2,22 Mbps

A resolución 1920x1080 (2.0 Mpx): 1800 Mb/hora --> 4 Mbps

Teniendo en cuenta que tendremos un gran número de cámaras deberemos utilizar la resolución media o baja.

El ancho de banda nuestra red lo definirá el estándar wifi que usemos como los equipos de nuestra instalación. Tal como hemos comentado antes las cámaras solo son compatibles con el b, g y n. Por lo tanto, en este caso también nos conviene un punto de acceso que pueda tener una conexión **tipo n** con la que se pueden transferir hasta 600 Mbit/s. Este valor puede parecer muy alto, pero hay que tener en cuenta que debido a las interferencias con aparatos que trabajan a la misma frecuencia o por la absorción de las ondas por la superficie del terreno, paredes... la velocidad teórica puede verse disminuida sensiblemente.

#### 4.4.4.3.2 Dispositivos de propagación:

##### 4.4.4.3.2.1 Enlaces inalámbricos:

Estos dispositivos permiten que haya cobertura en todo el circuito de velocidad. Los enlaces inalámbricos [4] ofrecen la posibilidad de transportar datos, en este caso archivos de vídeo comprimidos, a lugares de difícil acceso donde no existe la posibilidad de contratar un acceso a internet directo. Por lo tanto, estos enlaces se realizan desde un punto donde

exista la posibilidad de contratar un acceso a internet hasta los puntos donde sea necesaria esa conexión. Dependiendo del equipo la transmisión de datos entre los dos puntos puede llegar a ser de más de 30 km de distancia, teniendo en cuenta que haya visibilidad directa y otros factores.

Hay varios tipos de Enlaces inalámbricos:

- **Enlace punto a punto:** Las redes punto a punto (Figura 4.47.) se usan para un tipo de arquitectura de red en la que el solo se quiere transmitir datos entre dos puntos. En una red punto a punto los dos nodos actúan como socios iguales entre sí. Por ejemplo, se usa para dar acceso a internet a una casa u oficina que no puede disponer de acceso.



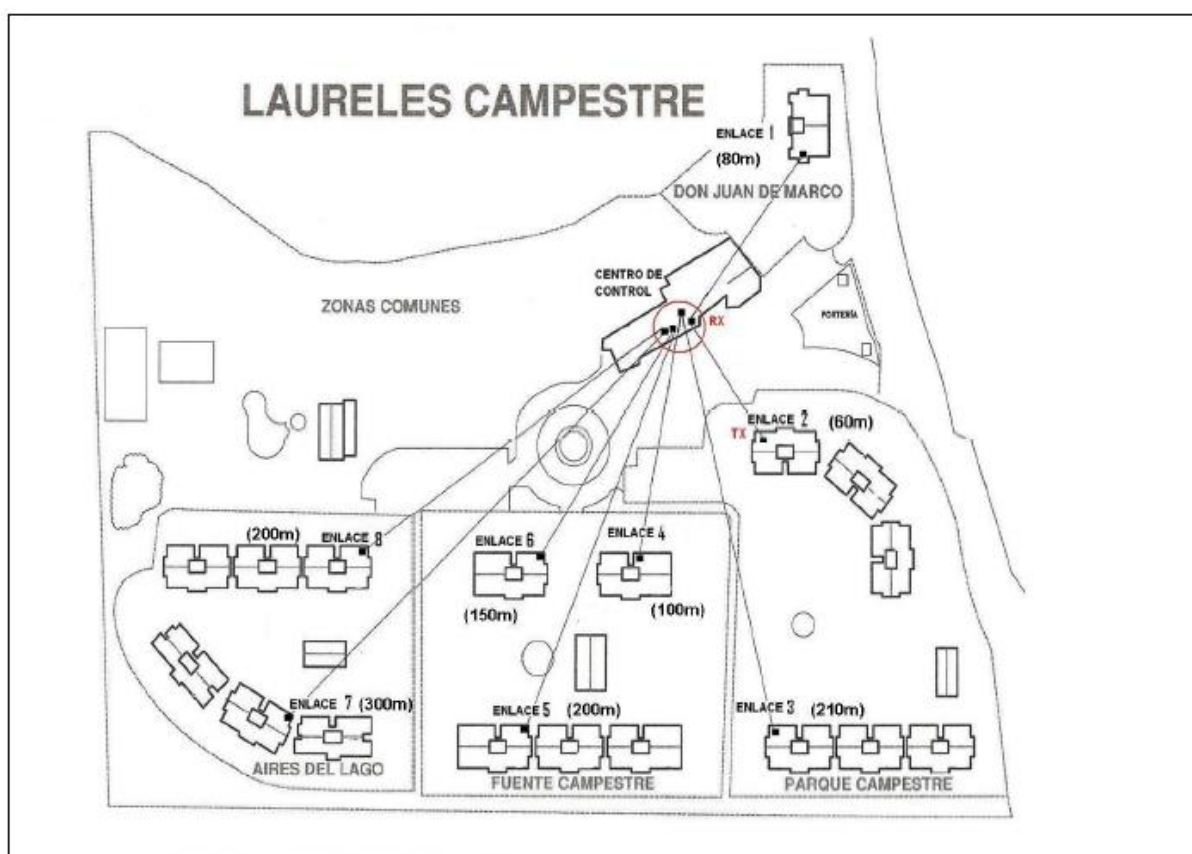
[Fig. 4.47.](#) Enlace punto a punto

Según la dirección de las comunicaciones estos enlaces punto a punto se clasifican de tres maneras:

- **Símblex:** la comunicación solo se efectúa en un sentido.
- **Half-Duplex:** la comunicación se efectúa en ambos sentidos de manera alternativa.
- **Full-Duplex:** la comunicación entre ambas partes se produce simultáneamente.

- **Enlaces punto-multipunto:** Este tipo de redes permiten enlazar diferentes puntos remotos hacia un punto central con el objetivo de transmitir datos, voz y video. Los enlaces inalámbricos multipunto nos permiten mandar señal a áreas extensas y cubrir un gran número de usuarios. Estas redes constan de una antena multidireccional en la estación central a la que apuntan las antenas direccionales que se encuentran en las zonas donde se quiere llevar el internet. Estos enlaces se usan por ejemplo para transmitir datos entre varias oficinas, para compartir internet en una residencia de vecinos, campus universitarios...

La Figura 4.48 es un ejemplo de uso de un enlace punto-multipunto. Se trata de una residencia de vecinos. Como se puede ver en la imagen hay una zona de control donde se encuentra el punto de acceso a internet y la antena multidireccional. En las diferentes partes de la residencia se encuentran las antenas direccionales. De esta manera se puede por ejemplo tener internet en todas esas zonas.



**Fig. 4.48.** Ejemplo de uso de un enlace punto-multipunto

#### 4.4.4.3.2.2 Repetidor de señal:

Los repetidores o amplificadores de señal Wi-Fi es una alternativa al uso de enlaces inalámbricos. Estos están destinados a recibir la señal que proviene del emisor y amplificarla con el objetivo de ampliar el rango de la señal. Es decir, se trata de un dispositivo que repite todas las señales recibidas.

Para su correcto funcionamiento el repetidor wifi debe estar dentro del rango de la señal emitida. Si se encuentra demasiado lejos la señal que le llegue será muy baja y por lo tanto, no funcionará bien. Es un dispositivo inalámbrico.

Los repetidores Wi-Fi se caracterizan por varios factores. Según lo que nos interese se escogerá uno u otro. Las características más importantes son:

- Velocidad de transmisión de datos: Los repetidores de señales pueden transmitir la información a diferentes velocidades. Ésta dependerá del estándar Wifi que usan, entre otros factores. En nuestro caso el estándar wifi del repetidor de señales tiene que ser 802.11n para asegurar que no se pierde velocidad y también para que sean compatibles con las cámaras IP.
- Número de puertos ethernet: Pueden tener desde 0 a 2. En nuestro caso no es algo muy relevante dado que todo funcionará sin cables, pero por posibles aplicaciones futuras siempre es útil tener algún puerto ethernet.
- Antenas: Tal como hemos comentado antes las antenas son importantes para irradiar la señal de la forma deseada. Nos interesan antenas omnidireccionales.

#### 4.4.4.3.2.3 Comparación:

Los enlaces inalámbricos tienen como ventaja respecto a los repetidores de señales que tanto el alcance de las antenas como la seguridad de que la señal del wifi llegue a toda la zona es mayor. También tienen como ventaja que la señal sufre menos interferencias y menos pérdidas. Es una instalación que si está bien hecha es robusta y fiable.

Por otra parte, la instalación de enlaces es mucho más complicada tanto a nivel de hardware y software y también es más costosa que la instalación de repetidores de señales. Estos últimos son mucho más accesibles por los consumidores y no requieren de técnicos especializados para su instalación (muchos se conectan automáticamente).

Una desventaja del repetidor de señales es que amplifica todas las señales que le llegan tanto si son útiles como si no, y eso ralentiza la velocidad.

También hay diferencias respecto a los usos. Los enlaces inalámbricos están pensados para unir puntos a gran distancia o para zonas muy grandes con varios edificios y obstáculos de por medio. En cuanto a los repetidores de señales su uso habitual es en interiores y en menor medida exteriores.

En conclusión, debido a que el circuito de velocidad de Castellolí es una superficie muy grande resulta necesario la instalación de enlaces inalámbricos punto - multipunto para asegurarse el correcto funcionamiento de la transmisión de datos entre las cámaras y la zona de control.

#### 4.4.4.3.2.4 Selección de punto de acceso y enlaces inalámbricos

Para la red de las cámaras wifi necesitamos: Un punto de acceso en la zona de control, éste estará conectado a la red; Una antena multidireccional en la zona de control, conectada al punto de acceso y irradiando la señal al circuito de velocidad para la transmisión de datos con las antenas direccionales y, por último, varias antenas direccionales a las cuales estarán conectadas las cámaras.

- Punto de acceso y antena multidireccional: En nuestro caso, para asegurar la compatibilidad de los elementos, se escoge el punto de acceso y la antena multidireccional conjuntamente, se usará un equipo **RHINO 618X Wi-Fi AP Profesional 1 Externa 600mW IP67 CP1900 (Figura 4.49).**

#### ESPECIFICACIONES

ANTENA	1 Externa (Tipo N)
ANCHO DE BANDA	55 Mbps
DISTANCIA	30 Km
PUERTOS ETHERNET	1 puerto 10/100
CAPACIDAD DE PROCESO	CP1900
ANCHO DE BANDA	55 Mbps



[Fig. 4.49.](#) RHINO 618X Wi-Fi AP Profesional 1 Externa 600mW IP67 CP1900

Este equipo está especialmente diseñado para realizar enlaces punto-multipunto de CCTV para cámaras IP. Este equipo se equipa con una antena inalámbrica SECT-90-5138 que consiste en una antena sectorial de 90° tipo 802.11n para dar cobertura total a la zona del circuito de velocidad. Con este equipo se puede recibir información de hasta 20 cámaras de 3 Mbps cada una.

- Antenas direccionales: Para las antenas direccionales las cuales enviaran los datos de las cámaras a la antena multidireccional usaremos equipos cliente Wairlink Orix Lite 3 (Figura 4.50.) que llevan antena integrada.

## ESPECIFICACIONES

ANTENA	Integrada
ANCHO DE BANDA	15Mbps
DISTANCIA	< 1 Km
PUERTOS ETHERNET	5 puertos 10/100
CAPACIDAD DE PROCESO	CP250
ANCHO DE BANDA	15Mbps

[Fig. 4.50\\_](#) Wairlink Orix Lite 3



#### **4.4.4.4. Elementos de la red Wi-Fi para los coches autónomos:**

##### **4.4.4.4.1 Punto de acceso inalámbrico**

El protocolo IEEE 802.11p que usaremos para la comunicación en este caso entre la zona de control y el coche autónomo (V2I) está pensado para comunicaciones muy rápidas y su alcance no es muy grande. Sus aplicaciones más importantes son; cobro de peajes automáticamente, aviso de la llegada de un coche de emergencias, aviso de obras... Aparte de testar estas aplicaciones también se probará el funcionamiento del coche. Para que la comunicación sea continua entre el automóvil y la zona de control debemos asegurarnos de que la señal siempre llegue entre emisor y receptor.

En cuanto al ancho de banda los coches autónomos la cuantificación de los datos por segundo que se transmiten es complicada. Aunque podemos estar seguros que en comparación con las cámaras será mucho más bajo, ya que no se transmitirá vídeo.

En conclusión, respecto al alcance la red para los coches autónomos tiene las mismas exigencias que la red para las cámaras. En cambio, respecto al ancho de banda, la red Wi-Fi para los coches autónomos necesita mucho menos.

##### **4.4.4.4.2 Dispositivos de propagación**

Respecto a los dispositivos de propagación, como en el caso de las cámaras, se necesitará dar cobertura a la totalidad del circuito de velocidad. Por lo tanto, también se usarán enlaces inalámbricos.

4.4.4.4.3 Selección de punto de acceso y enlaces inalámbricos para la red Wi-Fi de coches autónomos.

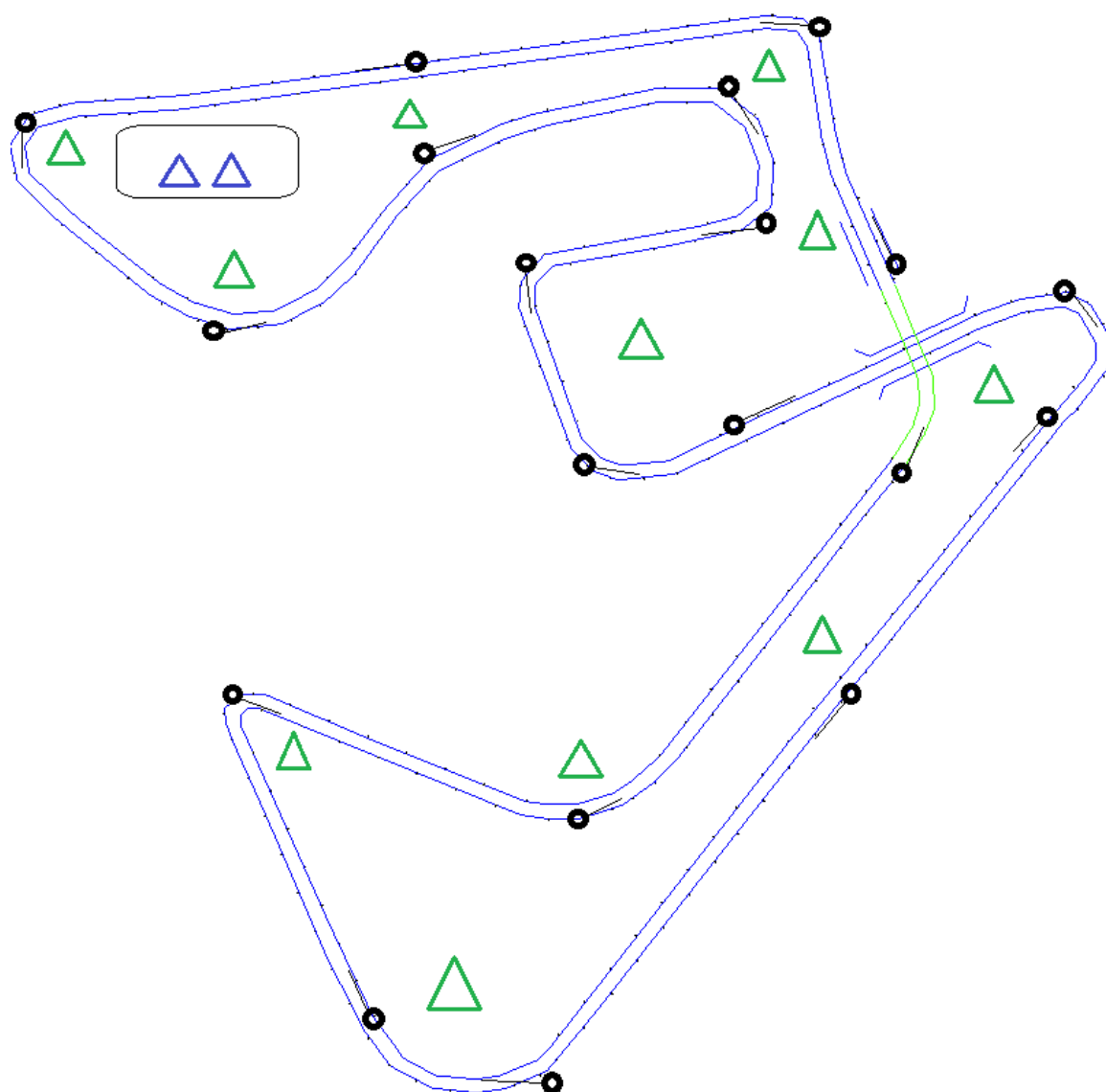
A nuestro juicio la mejor manera de transmitir los datos desde los coches autónomos al centro de control consiste en la colocación en una antena multidireccional en el coche autónomo y en la zona de control. De esta manera se asegura la comunicación entre ambas partes ininterrumpidamente.

Los elementos escogidos para llevar a cabo esta comunicación son:

- Punto de acceso y antena multidireccional en la zona de control: Se usará un equipo **RHINO 618X Wi-Fi AP Profesional 1 Externa 600mW IP67 CP1900** como en el caso de las cámaras. Se equipará con la misma antena.
- Punto de acceso y antena multidireccional en el coche autónomo: En este caso, lo más probable es que el coche autónomo ya venga equipado con alguna antena con la finalidad de comunicar-se con la zona de control. Nosotros recomendaríamos la instalación de un equipo **RHINO 618X Wi-Fi AP Profesional 1 Externa 600mW IP67 CP1900**, pero en este caso con una antena omnidireccional 12 dBi 5GhzOMNI-12

4.4.4.4.4 Distribución Final:

En la Figura 4.51. podéis ver la distribución de las diferentes partes que forman la red de transmisión de datos para las cámaras y para los coches autónomos. Los círculos negros, tal como hemos explicado anteriormente, representan las cámaras. Los triángulos azules representan los equipos RHINO 618X, que los que reciben los datos y que se encuentran en la zona de control. Por último, los triángulos verdes representan los quipos ORIX LITE 3 que están enfocados a las antenas de la zona de control. A la hora de colocar estos equipos hemos tenido en cuenta la distancia máxima a la que pueden estar las cámaras para conectarse de manera eficiente.



[Fig. 4.51.](#) Distribución final de cámaras y antenas

#### 4.4.5. Alimentación del sistema:

Para alimentar el sistema es necesario cablear el circuito para hacer llegar la red eléctrica a las luminarias. Usando este mismo cableado se alimentaría tanto las cámaras como los equipos de la red de transmisión de datos ya que estos se encuentran en los mismos postes. De esta manera estamos alimentando todos los elementos con un cableado.

Tal como hemos comentado anteriormente, la instalación de las iluminarias, pese a su alto coste, implica una serie de ventajas importantes. En el caso de que se decidiera no iluminar el circuito existe la posibilidad de alimentar el sistema de cámaras y de red con energía fotovoltaica. En este plan de empresa se ha desarrollado todo teniendo en cuenta la instalación de las luminarias.

##### 4.4.5.1. Consumo:

En nuestro proyecto tendremos un alto consumo de energía, calcularemos el consumo de las cámaras y de las luminarias (Figura 4.52.). El coste de las antenas lo menospreciaremos, ya que este es muy bajo respecto a los otros dos.

Producto	Consumo (W)	Cantidad	Consumo total (W)	Uso (h/día)	Consumo total (KWh/día)
<b>Cámara</b>	6,5	19	123,5	24	2,964
<b>Luminaria</b>	261,2	256	66.867,2	6	401,2032
				<b>TOTAL</b>	<b>404,1672</b>

[Fig. 4.52.](#) Tabla de consumo

Una vez calculado el consumo al día en KW·h, y estableciendo el valor de la energía a 0,141033 €/KW·h (que es el precio fijo en mercado regulado) podremos calcular el consumo de la instalación anual.

En el caso de que la instalación consuma durante 365 días al año tendremos un consumo aproximado de 20.652,95 € anuales.

## 4.5. Plan de inversiones y presupuesto:

El presupuesto de nuestro proyecto lo hemos dividido por instalaciones, del mismo modo que la parte técnica del proyecto.

### 4.5.1. Presupuesto luminarias:

Para presupuestar la instalación de las luminarias solamente tendremos que tener en cuenta las 256 luminarias NRM030/250W de la marca *NVC lighting* y de la canalización y la tirada de cableado que éstas necesitan para su alimentación. El precio de la canalización y tirada de cableado lo hemos solicitado a una empresa del sector que reclama confidencialidad. El precio lo podemos ver en la Figura 4.53.

Producto	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio Total (€)
<b>NRM030/250W</b>	785	256	200.690
<b>canalización + tirada de cableado</b>	-	-	219.800
		<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>420.490 €</b>

[Fig. 4.53.](#) Presupuesto Luminarias

#### 4.5.2. Presupuesto cámaras:

Para presupuestar la instalación de las cámaras, tendremos en cuenta que hemos emplazado 19 cámaras IP Foscam FI9900P. Por lo tanto, para almacenar las imágenes generadas por 19 cámaras necesitaremos 3 grabadores NVR FN3109H. Para la visualización necesitaremos un ordenador convencional y el Software de visualización Blue Iris, que nos permite visualizar las 19 cámaras simultáneamente en él. En el caso que se quiera también se podrá adquirir pantallas adicionales para poder ver las imágenes de mayor tamaño. El punto de acceso necesario para la instalación se presupuestará en el apartado de redes de transmisión de datos. El precio lo podemos ver en la Figura 4.54.

Producto	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio Total (€)
<b>IP Foscam FI9900P</b>	139,90	19	2.658,10
<b>NVR FN3109H</b>	149,90	3	449,70
<b>Blue Iris</b>	46	1	46
		<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>3.153,80 €</b>

[Fig. 4.54.](#) Presupuesto Cámaras

\*Hemos considerado que ya dispone de un ordenador convencional con el que poder visualizar las imágenes

### 4.5.3. Presupuesto red de transmisión de datos:

Para presupuestar la red de transmisión de datos hemos tenido en cuenta la red de conexión con los vehículos autónomos y la red de las cámaras IP. Cada una consta de un equipo Rhino 618X Wi-fi AP y de una antena SECT-90-5138. Para tener conexión con las cámaras deberemos instalar a lo largo del circuito 11 equipos Orix LITE 3. El precio se puede ver en la Figura 4.55.

Producto	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio Total (€)
<b>RHINO 618X WI-FI AP</b>	845	2	1.690
<b>SECT - 90 - 5138</b>	235	2	470
<b>ORIX LITE 3</b>	345	11	3.795
		<b>PRECIO TOTAL</b>	5.955 €
		<b>Descuento</b>	30%
		<b>PRECIO FINAL</b>	<b>4.168,50 €</b>

Fig. 4.55. Presupuesto Red de transmisión de datos

\*Hemos considerado que los vehículos ya tienen una antena para comunicarse con la zona de control.

**4.5.4. Presupuesto final de la inversión inicial:**

La suma de las tres instalaciones y la mano de obra se puede ver en la Figura 4.56.

Concepto	Precio (€)
Instalación luminarias	420.490
Instalación cámaras	3.153,80
Instalación red de transmisión de datos	4.168,50
Mano de obra	150.000
<b>PRECIO FINAL</b>	<b>577.812,3 €</b>

[Fig. 4.56.](#) Presupuesto Final



## 4.5.5. Previsión de la inversión:

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
<b>Ingresos brutos</b>	0	107000	122600	128150	133700	133750	143800	143800
<b>Servicios</b>								
<b>Pruebas de vehículos</b>		70000	80000	80000	85000	85000	95000	95000
<b>Rodajes</b>		1500	1600	1650	1700	1750	1800	1800
<b>Presentaciones</b>		8500	9000	9500	10000	10000	10000	10000
<b>Particulares</b>		25000	30000	35000	35000	35000	35000	35000
<b>Competiciones</b>		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Comisiones (%)</b>				10	15	20	25	0
<b>Comisiones</b>	0	0	0	12815	20055	26750	35950	0
<b>Ingresos Netos</b>	0	107000	122600	115335	113645	107000	107850	143800
<b>Gastos</b>	577812	27500	27500	27500	27500	27500	27500	27500
<b>Inversión</b>								
<b>Luminarias</b>	420490							
<b>Cámaras</b>	3153,8							
<b>Red de datos</b>	4168,5							
<b>Mano de obra</b>	150000							
<b>OPEX</b>	0	27500	27500	27500	27500	27500	27500	27500
<b>Internet</b>		1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>Transporte</b>		300	300	300	300	300	300	300
<b>Energía</b>		20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
<b>Mantenimiento</b>		5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
<b>Soporte</b>		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<b>Flujo Tesorería</b>	-577812	79500	95100	87835	86145	79500	80350	116300
<b>Flujo Tesorería Acumulado</b>		-498312,3	-403212,3	-315377,3	-229232,3	-149732,3	-69382	46918

Fig. 4.57. Previsión de la inversión

En la Figura 4.57. se puede ver la previsión de la inversión a 7 años de nuestro proyecto.

Los valores de los ingresos de los servicios han estado contrastados con la empresa ParcMotor de Castellolí, al igual que los gastos OPEX. Teniendo en cuenta siempre las variaciones que nuestro proyecto aporta a estos datos.

Queremos remarcar que nosotros obtendremos el beneficio de la comisión que cobraremos, en tanto por ciento, de los ingresos netos anuales. Hemos establecido unos valores de 10%, 15%, 20% y 25% del año 3 al 6 respectivamente. Por lo tanto, nuestros beneficios son directamente proporcionales a los del complejo ParcMotor Castellolí.

Por otro lado, hemos calculado el VAN y el TIR como indicadores de la rentabilidad de la inversión. En ambos casos como mayor sea el valor, mejor.

- VAN = 21.754,5837€

- TIR = 2 %



## Conclusiones:

La primera conclusión que extraemos del trabajo es la necesidad de realizar diversas instalaciones para poder conseguir habilitar el circuito para los coches autónomos, a la vez que aumentamos el tiempo de uso de éste.

Por tanto, la instalación de luminarias para ampliar el tiempo de usufructo del complejo deportivo es indispensable.

También se extrae del trabajo la importancia de las cámaras respecto a la seguridad y el control en unas instalaciones que albergaran pruebas de alto nivel tecnológico. Respecto a las cámaras IP se observa la existencia de un mercado en plena expansión con unas posibilidades ilimitadas que en un futuro no muy lejano acabarían sustituyendo los sistemas analógicos.

Por lo que respecta a la red de transmisión esta resulta fundamental para la realización de pruebas con vehículos autónomos y, por lo tanto, para ampliar el modelo de negocio y sus instalaciones del circuito de velocidad de Castellolí que, actualmente, tiene como fuente de ingreso principal los conductores amateurs.

Las limitaciones y obstáculos que aún tiene la energía fotovoltaica para abarcar un proyecto de iluminación de esta envergadura nos ha hecho llegar a la conclusión que el uso de una red cableada de alimentación nos facilitará la instalación.

Por lo que respecta al plan de inversiones y al presupuesto podemos concluir que este proyecto es caro, pero a la vez muy ambicioso. Al tener una tasa de TIR de 2% y un VAN a 7 años de 21.754,5837 € podemos concluir que es rentable. Se puede observar que la inversión inicial resulta muy elevada, pero a su vez los ingresos brutos anuales de la instalación también lo serán una vez esté acabada.

Por último, haremos hincapié en la complejidad que tiene realizar un plan de empresa detallado al completo. Éste nos permite analizar el proyecto desde muchos puntos de vista, pero también es necesario un alto conocimiento de ellos. Por lo que concluimos que los siguientes pasos a realizar serían el plan de marketing y la evaluación de la organización de la misma empresa.



## **Agradecimientos:**

Queremos agradecer la colaboración de los empleados actuales del ParcMotor de Castellolí por facilitarnos mucho el trabajo y sobre todo por proporcionarnos datos de mucha importancia en nuestro proyecto.

Por otro lado, también queremos hacer una especial mención a Martín Ruíz de Ibersystems por su ayuda y consejo, al igual que a WAIRLINK por su colaboración y descuentos en sus productos.



## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- [1] Carlos Herranz, Josep M<sup>a</sup> Ollé y Fernando Jáuregui, 2010, “La iluminación con led y el problema de la contaminación lumínica”.
- [2] Eduardo Cano, 23/12/2016, ABC Motor, “Las empresas ya se plantean adquirir coches autónomos”
- [3] Francisco Javier García, 2010, “Videovigilancia: CCTV usando vídeos IP”
- [4] María Carmen España, 2003, “Servicios avanzados de telecomunicación”



## Bibliografía complementaria

<http://www.parcmotor.com/ca>

<http://okdiario.com/motor/2015/07/29/mcity-coches-autonomos-7941>

<http://www.conducetuciudad.com/es/blog/repaso-a-la-itc-bt-52-recarga-de-coches-electricos>

<http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf>

<http://www.cochesinconductor.com/2016/07/ya-se-ha-producido-el-primer-accidente-mortal-con-un-vehiculo-autonomo/>

<http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/7696917/07/16/La-DGT-aleja-a-Tesla-de-Espana-no-permite-la-circulacion-de-los-coches-autonomos.html>

<http://blogthinkbig.com/ventajas-coches-autonomos/>

[https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/74D556F8-A140-462F-A89D-E2B168EA95CD/130278/OC362015\\_Tomol.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/74D556F8-A140-462F-A89D-E2B168EA95CD/130278/OC362015_Tomol.pdf)

[https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/5C9F78D2-2119-4609-96CC-69601916C519/68223/1210101\\_2008.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/5C9F78D2-2119-4609-96CC-69601916C519/68223/1210101_2008.pdf)

[https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/84733B99-0096-44D2-A23C-FF62CFCDB82B/68222/1210102\\_2008.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/84733B99-0096-44D2-A23C-FF62CFCDB82B/68222/1210102_2008.pdf)

<https://lacofa.fundaciontelefonica.com/2016/09/26/las-tecnologias-que-hay-detras-del-coche-autonomo/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Parcmotor\\_Castellol%C3%AD](https://es.wikipedia.org/wiki/Parcmotor_Castellol%C3%AD)

<http://www.todocircuito.com/reportajes/25-circuito-parcmotor-castelloli.html>

<http://www.fastparcmotor.com/instalaciones/>

<http://albaled.es/data/documents/Manual-Dialux-4.7.pdf>

[http://www.f2i2.net/documentos/lsi/dis\\_6060.pdf](http://www.f2i2.net/documentos/lsi/dis_6060.pdf)

<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>

[http://www.iac.es/adjuntos/otpc/RESUMEN%20DE%20RECOMENDACIONES\\_INDICE%202012-SEPTIEMBRE.pdf](http://www.iac.es/adjuntos/otpc/RESUMEN%20DE%20RECOMENDACIONES_INDICE%202012-SEPTIEMBRE.pdf)



[http://lumsearch.com/es/article/P\\_0OUKnXSkWpAl86jeCOMA](http://lumsearch.com/es/article/P_0OUKnXSkWpAl86jeCOMA)

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2663/621322LL791.pdf;jsessionid=E87BAB52AA283EF02181F820E1D93F1C?sequence=1>

<https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara>

<http://www.seguridadsos.com.ar/camaras-de-seguridad-tipos-y-modelos/>

<http://elblogdelespia.com/camaras-ip/>

<http://www.mi-seguridad-privada.com/3-tipos-de-camaras-con-ip-wifi/>

<http://www.domodesk.com/a-fondo-camaras-ip>

<http://seguridadseat.com/cctv.html>

<https://www.tecnoseguro.com/analisis/cctv/sistemas-de-grabacion-de-cctv-ip-cual-es-el-mejor-nvr-o-vms.html>

<http://probo69.blogspot.com.es/2010/02/cctv-analogo-vs-ip.html>

<https://www.tecnoseguro.com/foro/14-video-sobre-ip/1097-instalacion-de-camaras-ip-wifi>

<https://sites.google.com/site/circuitocerradodetv/camaras-ip-1>

<https://www.tecnoseguro.com/analisis/cctv/sistemas-de-alimentacion-de-camaras-ip-%C2%BFcual-es-la-mejor-opcion-switch-poe-o-inyector-poe.html>

<http://www.foscam.es/camaras-ip-faq.php>

<http://zoominformatica.com/blog/grabar-imagenes-camara-ip-en-la-nube/>

<https://www.geektopia.es/es/technology/2015/10/07/articulos/antenas-conoce-como-funcionan-aprende-colocar-tu-router-repetidor-senal-wi-fi.html>

<http://www.maswifi.com/blog/2012/04/que-antena-wifi-es-mejor-los-tipos-de-antenas-wireless/>

<https://julioestrepo.wordpress.com/2012/02/07/wifi-entendiendo-la-potencia-de-transmision-tpower/>

<http://www.lacuevawifi.com/equipos-de-red/como-saber-el-alcance-de-una-antena-router-o-usb-wifi/>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>

<http://blogthinkbig.com/estandar-wi-fi/>

<http://blogthinkbig.com/wifi-de-doble-banda/>

<https://es.scribd.com/document/334151279/wifi-ieee>

<http://es.ccm.net/contents/789-introduccion-a-wi-fi-802-11-o-wifi>

[http://www.observatel.org/telecomunicaciones/Banda\\_Ancha.php](http://www.observatel.org/telecomunicaciones/Banda_Ancha.php)

<http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/velocidades>

<http://hostingdiario.com/que-es-la-transferencia-de-datos-y-el-ancho-de-banda/>

<http://portalgerald.blogspot.com.es/2012/01/ancho-de-banda.html>

<http://qloudea.com/blog/disco-duro-camara-ip/>

<http://zoominformatica.com/blog/cuanto-ocupan-las-grabaciones-en-nuestra-camara-ip/>

<http://docplayer.es/7875611-Diseno-de-un-enlace-inalambrico-para-un-sistema-de-seguridad-aplicado-a-un-circuito-cerrado-de-television-en-la-unidad-residencial-laureles-campestre.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_inal%C3%A1mbrica#WPAN: Wireless Personal Area Network](https://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica#WPAN: Wireless Personal Area Network)

[http://www.informaticamoderna.com/Redes\\_inalam.htm](http://www.informaticamoderna.com/Redes_inalam.htm)

<https://www.xuletas.es/ficha/redes-inalambricas-wman-wimax-umb-y-lte/>

<https://es.scribd.com/doc/277326033/Tipos-de-enlaces-inalambricos>

<http://enlacesinalambricos.blogspot.com.es/2012/03/inalambricos-los-enlaces-inalambricos.html>

<http://www.mtm-telecom.com/index.php/2012-07-04-19-05-27/enlaces-inalambricos-punto-a-punto-y-punto-multipunto.html>

<http://es.slideshare.net/PIVB/sistema-de-enlace-punto-a-multipunto>

<http://cctvcamarasmonterrey.com/enlaces-inalambricos-punto-a-punto/enlace-inalambrico-punto-a-punto-en-monterrey/>

<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/ca/cajon-de-sastre/38-cajon-de-sastre/961-monografico-redes-wifi?start=4>